



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Viljami Asunta

ENERGIATEHOKAS RAKENTAMINEN

Tekniikan yksikkö
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Viljami Asunta
Opinnäytetyön nimi	Energiatehokas rakentaminen
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	38 + 11 liitettä
Ohjaaja	Heikki Liimatainen

Opinnäytetyöni perustuu energiatehokkaiden rakenteiden tutkimiseen ja havainnollistamiseen. Olen tehnyt työni itsenäisesti koulun toimeksiantona. Lähtökohtana olen käyttänyt nykypäivän energiamääräyksiä, jotka antavat rakenteille täytettävät lämmönläpäisykertoimet. Tutkimuksessa olen keskittynyt kuitenkin määräyksiä parempiin rakenteisiin, jolloin voitaisiin puhua energiatehokkaista rakenteista. Olen tutkinut miten energiatehokkaat rakenteet toimivat rakennuksessa ja miten ne tulisi rakentaa. Lisäksi olen tutkinut mitä riskejä energiatehokkaat rakenteet voisivat synnyttää ja missä asioissa pitäisi kiinnittää erityistä huomiota rakenteiden, materiaalien ja liitosten osalta.

Olen käyttänyt tutkimuksessa hyväksi internetistä löytämäni tietoa ja yrittänyt sisäistää tämän ja havainnollistaa mitä vaaditaan, että saadaan energiatehokas rakenne syntymään. Tutkimukseeni olen valinnut mielestäni tehokkaimmat ja yleisimmin käytetyt rakenneratkaisut ja kuvannut niitä detalji-piirustuksin. Liitosten osalta yhtenäistin rakenteet yhteen, jolloin pohdin miten näiden rakenteiden liitos saataisiin mahdollisimman energiatehokkaaksi. Tutkimuksessa käytin hyväksi valmiita rakennemalleja, joita tutkimalla selvitin rakennusfysikaalisen toimivuuden ja miksi se tulee rakentaa juuri näin.

Tutkimuksessani tuli selville, miten energiamääräysten tiukentuessa rakenteiden paksuus kasvaa, mikä luo uusia ongelmia ja haasteita rakenteen toimivuudelle. Erityisesti eristeen lisääminen lämmönläpäisykertoimen parantamiseksi, kasvatti rakenteen paksuutta huomattavasti. Tästä johtuen on tärkeää rakentaa kaikki osat niin, että ne pystyvät täyttämään niille tarkoitetut tehtävät. Rakennuksen energiatehokkuutta pitää ajatella ympäristön ja meidän tulevaisuuden hyvinvoinnin kannalta, jotta elinympäristö pysyisivät mahdollisimman pitkään terveenä.

ABSTRACT

Author	Viljami Asunta
Title	Energy Efficient Building
Year	2015
Language	Finnish
Pages	38 + 11 Appendices
Name of Supervisor	Heikki Liimatainen

This thesis focuses on researching and illustrating energy efficient structures. The thesis was done independently and it was assigned by VAMK, University of Applied Sciences. Current energy regulations were used as a starting point for my thesis. These energy regulations dictate the official heat transfer coefficients, acceptable in modern structures. In the research energy efficient structures were concentrated on which are superior to those structures that fulfil the requirements of the regulation. The risks related to energy efficient structures were studied with a purpose to identify the areas to which should be paid particular attention to when it comes to structures, materials and joints.

Information available online was used in the research it to illustrate what it takes to build energy efficient structures. Such structural solutions were selected that are considered the most efficient and commonly used and those structures are illustrated with detail pictures. Different structures were combined to identify the most energy efficient way to make joints. Ready-made structure models were used to explain the physics behind the structural models and why they are built the way they are.

In the research it was found out how structure thickness grows when energy regulations tighten. Thickness brought new problems / challenges to the functionality of the structure. Especially the thickness of insulation considerably increased the thickness of the structure. Therefore it is important to build every component in a way that they can fulfil their purpose properly. We have to focus on energy efficiency both for the environment and for the sake of our well-being, so that we could have a chance to enjoy the sustainable way of building in the future, too.

Keywords	Energy efficient, structures, joints, materials, U-term
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
2	ENERGIAMÄÄRÄYKSET	9
2.1	Miten määräykset ovat muuttuneet	9
2.2	Nykypäivän määräykset	11
2.3	Energiatodistus	12
3	ENERGIA TEHOKAS RAKENNUS	14
3.1	Energiatalot	14
3.1.1	Matalaenergiatalo	14
3.1.2	Passiivienergiatalo	15
3.1.3	Nollaenergiatalo	15
3.2	Tekniset järjestelmät	16
3.2.1	Ilmanvaihto	17
3.2.2	Lämmitys	18
4	RAKENTEET	19
4.1	Tiiviys	19
4.2	Energiatehokkaat materiaalit	20
4.3	Lämmöneristäminen	21
4.3.1	Konvektio	22
4.4	Alapohjarakenneratkaisut	23
4.4.1	Maanvarainen alapohja	23
4.4.2	Tuulettuva alapohja	24
4.4.3	Alapohjarakenteiden hyödyt ja haitat	25
4.5	Seinärakenneratkaisut	26
4.5.1	Tuulettuva puurunkoinen ulkoseinä	28
4.5.2	Tuulettuva kivrunkoinen ulkoseinä	28
4.5.3	Hirsirunkoinen ulkoseinä	30
4.6	Yläpohjarakenneratkaisut	30
4.6.1	Ristikkorakenteinen yläpohja	31

4.6.2	Vinorakenteinen yläpohja	32
4.7	Liitosratkaisut	33
4.7.1	Seinän ja alapohjan liitos	34
4.7.2	Seinän ja yläpohjan liitos	35
4.7.3	Seinän ja välipohjan liitos	35
5	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	Taulukko lämmönläpäisykertoimien muuttumisesta	s.10
Taulukko 2.	Suurimmat sallitut lämmönläpäisykertoimet 1969	s.11
Kuva 1.	Oikeaoppinen maatäyttö	s.26
Kuva 2.	Ristikkorakenteinen yläpohja	s.32
Kuva 3.	Vinorakenteinen yläpohja	s.33

LIITELUETTELO

Liite 1. Maanvarainen alapohja

Liite 2. Tuulettuva alapohja

Liite 3. Puurunkoinen ulkoseinä (matalaenergia)

Liite 4. Puurunkoinen ulkoseinä (passiivienergia)

Liite 5. Tiilirunkoinen ulkoseinä

Liite 6. Hirsirunkoinen ulkoseinä

Liite 7. Puurakenteinen ristikkoyläpohja

Liite 8. Puurakenteinen vinoyläpohja

Liite 9. Seinän ja alapohjan liitos

Liite 10. Seinän ja yläpohjan liitos

Liite 11. Seinän ja välipohjan liitos

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni olen perehtynyt energiatehokkaaseen rakentamiseen ja miten se ilmenee rakenteissa, materiaaleissa ja liitoksissa. Työn on tehty koulun toimeksiantona. Olen ollut hyvin kiinnostunut aiheesta ja aiheen parantamisesta tulevaisuudessa. Energiatehokkuus on ollut ajankohtainen viimeaikoina ja siihen liittyviä kysymyksiä pohditaan päivittäin. Energiatehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä halutaan parantaa ja niitä tukevia menetelmiä tullaan parantamaan nyt ja tulevaisuudessa. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on askel parempaa tulevaisuutta.

Ympäristöministeriö on laatinut Suomen rakentamismääräyskokoelmassa energiamääräykset, joita pitää noudattaa uudis- ja korjausrakentamisessa. Energiamääräyksiä uudistetaan vuosi vuodelta ja niiden tiukentuminen vaikuttaa enimmäkseen siihen, millaisia materiaaleja käytetään ja kuinka paljon ja millaisia rakennkokonaisuuksia niistä saadaan aikaiseksi. Lisäksi ne velvoittavat parantamaan talon teknisiä ominaisuuksia.

Olen perehtynyt matala-, passiivi- ja nollaenergiatalojen rakenneratkaisuihin, joista olen valinnut yleisimmin käytetyt menetelmät. Olen keskittynyt pääsääntöisesti passiivienergiatalojen rakenteisiin. Mielestäni nollaenergiatalot ovat vielä kehitysvaiheessa, koska niiden mahdolliset ongelmat eivät välttämättä ole vielä ilmenneet. Olen kerännyt tietoa energiatulojen rakenteista ja niiden vaatimuksista. Olen kiinnittänyt erityistä huomiota rakenteiden U-arvoihin ja luokitellut energiatehokkuuden sen mukaan. Lisäksi olen ottanut selvää eri rakennusmateriaalien ominaisuuksista ja miksi juuri tätä materiaalia käytetään ja miksi se soveltuu hyvin tähän rakenteeseen. Olen havainnollistanut opinnäytetyötäni rakennepiirustuksilla, joita olen analysoinut energiatehokkuuden pohjalta.

2 ENERGIAMÄÄRÄYKSET

Suomen energiamääräykset laatii Ympäristöministeriön Rakennetun ympäristön osasto. Energiamääräykset koskevat pääsääntöisesti uudis- ja korjausrakentamista. Ympäristöministeriö laatii joka vuodelle tavoitteita, joilla saataisiin parannettua Suomen rakennusteollisuuden energiatehokkuutta. Pää tavoitteina pidetään rakennusten energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian käytön lisäämistä. Lisäksi halutaan pienentää rakennusten energiankulutusta ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. /1; 2/

Rakennukset kuluttavat erittäin suuren osan Suomen energian kokonaiskulutuksesta. Energiaa kuluu Suomessa 40% rakennusten ylläpitämiseen. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on erittäin tärkeää, koska se vähentää energiankulutusta ja luonnon kuormitusta. Hyvällä rakennuksen energiatehokkuudella päästään pienempiin käyttöaika kustannuksiin ja se vähentää myös asumiskustannuksia energian hinnan noustessa. /1/

Tulevien vuosien energiamääräys tavoitteet pyrkivät nollaenergiarakentamiseen. Tulevana vuonna uusiutuvan energian käyttö lisääntyy uusissa ja perusteellisesti korjattavissa rakennuksissa. Vuoteen 2020 mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. /4/

2.1 Miten määräykset ovat muuttuneet

Energiatehokkuuteen liittyvät määräykset ovat muuttuneet ilmastonmuutoksen, uuden tiedon, markkinoille tulevien uusien rakennusmenetelmien- ja materiaalien mukaan. Lähivuosina on keskitytty eristepaksuuden lisäämiseen ja rakenteiden tiiveyteen, jolloin rakennusten lämmöneristyskyky on parantunut. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on julkaistu lämmöneristämiseen liittyviä määräyksiä jo vuodesta 1975. Määräykset ovat muuttuneet hyvin paljon siitä, mitä ne nykypäivänä ovat. Myös rakennustavat ovat kehittyneet vuosien kuluessa ja se, mitä nykyään energiamääräykset vaativat rakenteilta ei olisi ollut mahdollista rakentaa 50-vuotta sitten käytössä olleilla materiaaleilla ja rakenteilla. /2; 3, 7/

Määräyksissä keskitytään seinien, ylä- ja alapohjien sekä ovien ja ikkunoiden lämmöneristävyyteen. Se kuinka hyvin rakenne eristää lämpöä ilmaistaan lämmönläpäisykerroimella. Aiemmissa määräyksissä lämmönläpäisykerrointa (k) ei saanut ylittää. Vuodesta 2003 lähtien lämmönläpäisykerroin on tunnettu U -arvona. Lämmönläpäisykerroin kuvastaa rakennetta siten, mitä pienempi lämmönläpäisykerroin on, sitä parempi on rakenteen ja materiaalin lämmöneristävyys. Verrattuna nykypäivään 1970-luvulla rakennettujen talojen rakenteet olivat paljon ilmaa läpäisevämpiä. Nykyään rakennuksen vaipan tulee olla 3–4 kertaa tiiviimpi, mitä se tuolloin on ollut. Esimerkiksi vuonna 1976 ulkoseinän sallittu k -arvo oli 0,4, kun nykyinen vaadittu U -arvo on 0,17. /2/

Taulukko 1. Kuvaa miten lämmönläpäisykerroin on muuttunut vuodesta 1976–2010 /3, 9/.

Vuosiluku	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä U [W/m ² K]	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja U [W/m ² K]	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja U [W/m ² K]	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna U [W/m ² K]	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1
Ovi U [W/m ² K]	-	-	-	1,4	1,4	1
Muut energialaskennan lähtötiedot						
Ilmavuotoluku n_{50} [1/h]	6	6	6	4	4	2
Lämmön talteenoton hyötysuhde [%]	0	0	0	30	30	45

Suomi oli jaettu vuoden 1969 asuinrakennusten lämmöneristysnormeissa kahteen vyöhykkeeseen, jonka raja kulki Oulun – Vaalan – Kuhmon kautta. Jako oli tehty ilmaston lämpötilan perusteella, jonka mukaan syntyi pohjoinen vyöhyke ja eteläinen vyöhyke. Pohjoiselle vyöhykkeelle oli tiukemmat lämmöneristysvaatimukset, kuin eteläiselle vyöhykkeelle. Nykymääräyksistä poiketen lämmöneristämiseen liittyvät määräyksiä olivat erilaiset massiivisille rakenteille ja keveille rakenteille. Mitä kevyempi rakenne oli kyseessä, sitä parempaa lämmöneristyskykyä vaadittiin. /3/

Taulukko 2. Suurimmat sallitut lämmönläpäisykertoimet ($\text{W/m}^2\text{K}$) asuinrakennuksen eri rakennusosille vuoden 1969 asuinrakennusten lämmöneristysnormeissa (RIL 66) /3, 8/.

Rakennusosa	Pohjoinen vyöhyke	Eteläinen vyöhyke
Seinä ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten		
yksinomaan poltetusta tiilestä tehty seinä	0,93	1,05
normaalinen vaatimus	0,7	0,81
seinä, jonka massa < 100 kg/m ²	0,41	0,47
Yläpohja ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten		
normaalinen vaatimus kivirakenteiselle	0,47	0,47
normaalinen vaatimus puurakenteiselle	0,35	0,41
Alapohja		
osittain lämmitettyä tilaa vasten	0,7	0,7
lämmittämätöntä tilaa vasten	0,47	0,47
ulkoilmaa vasten	0,35	0,35
lämmittämätön maanvarainen	0,47	0,47
Ikkunoiden ja ovien lasiosat		
ikkunapinta-ala/seinäpinta-ala < 0,3	3,14	3,14
ikkunapinta-ala/seinäpinta-ala > 0,3 ja < 0,6	2,67	3,14
ikkunapinta-ala/seinäpinta-ala > 0,6	2,44	2,44

2.2 Nykypäivän määräykset

Tämän hetkessä pientalorakentamisessa pyritään mahdollisimman energiatehokkaaseen ratkaisuun sekä rakennus- että käyttö vaiheessa. Energiämääräyksien tiukentuessa, eristepaksuuksien lisääntyessä ja uusien rakennus menetelmien kehityessä päästään hyvin energiatehokkaaseen lopputulokseen.

Ympäristöministeriö antoi 30.3.2011 energiatehokkuutta parantavat rakentamismääräykset. Määräykset ovat tulleet voimaan 1.7.2012 ja ovat edelleen voimassa. Aikaisemmissa määräyksissä uudistukset keskittyivät lähinnä rakenteiden U-arvon tiukentamiseen, mutta uusien määräyksien myötä on siirrytty kokonaisenergiatarkasteluun. Rakennukselta ei haluta pelkästään hyvää lämmöneristävyyttä vaan, myös tehokasta energian käyttöä. Nämä uudistukset ovat rakentamismää-

räyskokoelman osissa D3 ja D5. Jokaiselle rakennustyyppille annetaan oma E-luku, jossa huomioidaan mitä energiamuotoa rakennus käyttää. Energiamuodoille on annettu primäärienergiakertoimet, joka on pienin uusiutuvalla energialla 0,5. Sähköllä vastaava kerroin on 1,7, kaukolämmöllä 0,7 ja fossiilisilla polttoaineilla 1,0. Pientalorakentamisessa huomioidaan myös rakennuksen pinta-ala, joten pienemmille rakennuksille vaatimukset ovat lievemmat. Muutoksen uskotaan kannustavan käyttämään uusiutuvaa energiaa, esimerkiksi pellettiä ja maalämpöä. /5; 6/

Muutos energiatehokkuuden kokonaistarkasteluun ei kuitenkaan syrjäytä edellisiä energiamääräyksiä. Esimerkiksi rakennuksen ulkovaipan rakenteiden täytyy edelleen täyttää annetut minimi lämmönläpäisykertoimet. Taulukosta 3 näkee 2010 annetut lämmönläpäisykertoimet. Vuonna 2010 annetuissa määräyksissä suomi siirtyi matalaenergiarakentamiseen. Tämä tarkoitti sitä, että suoraa sähkölämmitystä rajoitettiin ja kiinteistöille annettiin mahdollisuus siirtyä kaukolämpöön. Muutos vaikutti myös eristepaksuuden lisäämiseen, niin kuin taulukosta 3 voi huomata. Eristemäärät nousivat 160 millimetristä 280 millimetriin, joka johti kaksoerokksisten eristeiden käyttöön. /7/

2.3 Energiatodistus

Energiatodistus on nykypäivänä erittäin tärkeä todistus rakennuksille, koska se kertoo rakennuksen energiatehokkuudesta ja sen energialuokituksen. Laki ja säädökset energiatodistuksesta tulivat voimaan 1.6.2013. Laki määrää rakennuksen omistajaa hankkimaan energiatodistuksen uudisrakennuksille rakennuslupamenettelyn yhteydessä. Laki määrää myös todistuksen vanhoille pientaloille, jotka ovat rakennettu vuoden 1980 jälkeen, mutta tietyllä siirtymäajalla. Energiatodistusta tarvitaan viimeistään silloin, kun rakennus tai sen osa myydään tai vuokrataan. Hyvä energiatodistus on kuitenkin arvostettu paperi, joten se kannattaa hankkia ja siihen kannattaa panostaa omaa taloa rakennuttaessa. /1/

Energiatodistus helpottaa vertailemaan eri rakennusten energiatehokkuutta, erityisesti osto tai vuokraustilanteissa. Todistuksessa ilmoitetaan rakennuksen ominaisuuksia perustuen eristykseen, ikkunoihin, ilmanvaihtoon ja lämmitykseen. Näi-

den ominaisuuksien sekä laskennallisen energialuvun perusteella rakennuksille annetaan energiatehokkuusluokka, joka on asteikolla A-G. Energialuku koostuu siitä, kuinka paljon rakennus tarvitsee energiaa vuodessa neliömetriä kohden. Energialukuun vaikuttaa myös se, mitä energiamuotoa rakennus käyttää. Tämä ilmaistaan kertoimilla, joka on pienin uusiutuvalla energialla. Korkea energiatehokkuusluokka parantaa rakennuksen ostovoimaa ja arvoa. Jos energiatehokkuusluokkaa haluaa parantaa, voi lisätä rakennuksen lämmöneristystä, parantaa ilmanvaihdon lämmön talteenottoa tai vaihtamalla uusiutuvaan energiaan, jos mahdollista. /8/

Energiatodistus on voimassa 10 vuotta ja sen myöntää pätevä tekijä, joka on merkitty Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:n energiatodistusten laatijoista ylläpitämään rekisteriin. Todistusta ei vaadita rakennuksilta, joiden pinta-ala on alle 50 m², vapaa ajan asunnoilta, jotka ovat korkeintaan neljä kuukautta käytössä vuoden aikana ja suojelluilta rakennuksilta. Tulevaisuudessa todistusta tullaan vaatimaan lähes kaikilta rakennuksilta, jotka ovat rakennettu ennen vuotta 1980. /8/

3 ENERGIAATEHOKAS RAKENNUS

Energiatehokkaan rakennuksen ominaispiirteitä ovat tehokas eristys, tiiviys, tehokas ilmanvaihto, rakenteiden tuulettuminen, energiatehokas lämmitys, hyvä poistoilman lämmön talteenotto ja tehokkaasti käytetyt neliöt. Taloa rakentaessa kannattaa miettiä tarkkaan oma tilantarpeensa nyt ja tulevaisuudessa ja suunnitella tilat sen mukaan. Mitä tehokkaammin rakennuksen neliöt tulevat käyttöön sitä energiatehokkaampaa asuminen on. Tilantarpeen priorisoiminen näkyy myös rakennuskustannuksissa, niin kuin Toni Kekki sanoo Matalaenergiatalon suunniteluohjeessaan: ”Mikä on rakennuksen halvin neliö? Se neliö jota ei tarvitse rakentaa”. Parhain vaihtoehto on rakentaa suorakulmainen rakennus, koska silloin minimoidaan kulmien määrä. Rakennuksen kulma- ja nurkkapaikat ovat pahimpia ilmapuotokohtia, jotka täytyy suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Rakennuspaikan sijaintia on myös harkittava tarkkaan, rakentaako kuivalle kukkulalle vai kosteaan laaksoon, paistaako aurinko rakennukseen vai ollaanko varjossa ja miten avonaisella paikalla tontti sijaitsee tuulen suhteen. Hyvin suunniteltu ja toteutettu rakennus antaa parhaan mahdollisen lopputuloksen. /10/

3.1 Energiatalot

Pientalojen uudisrakentamisessa on tullut uusia käsitteitä ja puhutaan paljon energiataloista. Ihmiset haluavat rakentaa kestävä ja terveellisen elinympäristön. Energiatalojen rakentaminen ei pelkästään paranna itse rakennuksen terveellisyyttä vaan on hyödyksi koko maapallon hyvinvoinnille. Rakennukset käyttävät vähemmän energiaa ja hyödyntävät käyttämänsä energian tehokkaasti. Energiataloiksi luokitellaan matala-, passiivi- ja nollaenergiatalot. Näiden lisäksi on vielä plusenergiatalot, mutta näitä ei ole laajasti Suomessa vielä rakennettu.

3.1.1 Matalaenergiatalo

Matalaenergiatalojen lämmitysenergiantarve on puolet siitä, mitä voimassa olevien rakentamismääräys vaatimusten mukaan rakennettu talo tarvitsee. Matalaenergiatalojen lämpöhäviöiden tuli olla 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tämä määritys on tullut vuoden 2010 alussa tulleiden uusien ra-

kentamismääräysten myötä, jolloin eristysvaatimuksia tiukennettiin merkittävästä. Lisäksi matalaenergiatalo kuluttaa lämmitysenergiaa noin 60–90 kWh/brm² vuodessa. /9/

Matalaenergiatalon pystyy rakentamaan nykyisten rakentamismääräysten mukaan lisäämällä vain hiukan rakennepaksuuksia, jotta U-arvot olisivat määräyksiä paremmat. Alapohjassa ja ulkoseinissä U-arvon tulisi olla 0,13–0,15 välillä. Yläpohjassa U-arvo tulisi olla 0,08, ulko-ovissa 0,4–0,5 ja ikkunoissa 1,0. Ilmanvuotolukua pidetään erittäin tärkeänä energiatahokkaassa rakentamisessa, joten matalaenergiataloissa pyritään pitämään luku alle 0,6 l/h, mikä on reilusti alle mitä vaaditaan tämänhetkisin määräyksillä 2,0 l/h. /10/

3.1.2 Passiivienergiatalo

Passiivienergiatalot eroavat matalaenergiataloista siinä, että ne eivät tarvitse lämmitys- eikä jäähdytysenergiaa. Suomen ilmastossa tämä ei kuitenkaan ole kustannustehokkaasti mahdollista. Passiivitalo kuluttaa Suomessa lämmitysenergiaa noin 20–30 kWh/brm² vuodessa. Passiivitalojen rakennus on tiedettävästi vain välivaihe, sillä nolla- tai jopa plusenergiataloja pystytään jo rakentamaan ja ne yleistyvät lähivuosina huomattavasti uusien rakennusmääräystavoitteiden perusteella. /9/

Passiivienergiatalon rakentaminen vaatii jo paljon tiukempia määräyksiä, mitä rakentamismääräykset oikeasti vaativat. Seuraavat arvot on otettu harkkorakenteisen passiivienergiatalon vaatimuksista, mutta samat arvot pätevät muillakin rakennusmenetelmillä: Ulkoseinä vaatii enintään 0,10–0,13 W/m²K, yläpohja 0,06–0,08 W/m²K, alapohja- maanvaraisena 0,10–0,12 W/m²K, ryömintätilaan rajoittuvana 0,8–0,10 W/m²K ja ulkoilmaan rajoittuvana 0,8–0,10 W/m²K, ikkunoissa 0,6–0,8 W/m²K ja ulko-ovissa 0,4–0,7 W/m²K. Ilmavuotoluvun täytyy olla samaa luokkaa kuin matalaenergiataloissa. /11, 12/

3.1.3 Nollaenergiatalo

Tulevaisuudessa ollaan siirtymässä nollaenergiarakentamiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennus tuottaa uusiutuvaa energiaa vähintään saman verran kuin se ku-

luttaa uusiutumatonta energiaa. Rakennuksen energiankulutuksen täytyy siis olla erittäin pihi, jotta se pystyisi tuottamaan energiaa vastaavan määrän. Jotta tähän päästäisiin, pitää lämpöhäviöt minimoida suunnittelussa. Lämpöhäviökertoimet saavat olla enintään ulkoseinissä 0,08, yläpohjassa 0,06, alapohjassa 0,09, ikkunoissa 0,7 ja ovissa 0,7. Ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhde pitää olla enemmän kuin 80 % ja ilmavuotoluvun vähintään 0,4. /9/

Pientaloissa nähdään nykypäivänä vielä hyvin vähän nollaenergiarakentamista. Nollaenergiarakennus vaatii jonkun konkreettisen energiatuotto lähteen, esimerkiksi aurinkopaneelin. Nämä ovat jo niin isoja investointeja, että harvoin normaali perhe tällaiseen ratkaisuun vielä nykypäivänä päätyy. Rakenteellisesti rakennuksen pitää olla paljon alle nykyisten rakennusmääräysten tasoa. Kuitenkin lähes nollaenergiataloja on rakennettu hyvillä tuloksilla, jotka jäävät hiukan nollaenergiasta.

Suomessa aurinkopaneelit ovat tehokkaimmin käytössä vain kesällä, jolloin lämmityksen tarve on pienempi kuin talvella. Tulevaisuudessa ollaan tähän rakennustapaan siirtymässä, kun aurinkopaneelit kehittyvät ja halpenevat hurjaa vauhtia, joka mahdollistaisi myös niiden hyödyntämisen tehokkaammin pientalorakentamisessa.

3.2 Tekniset järjestelmät

Talojen hyvin suunnitellut rakenteet eivät pelkästään tee talosta energiatehokasta. Rakennuksen teknisten järjestelmien pitää toimia myös energiatehokkaasti. Teknisten järjestelmien energiatehokkuus riippuu siitä, kuinka paljon ne kuluttavat energiaa ja kuinka hyvin ne pystyvät hyödyntämään tuotetun lämpöenergian uudestaan. Monet järjestelmät ovat osaksi automatisoituja, mutta talon omistajan pitää tietää miten järjestelmää säädellään ja huolletaan. Monet elävät siinä uskossa, että rakennukset toimivat itsestään, mutta tieto siitä, miten esimerkiksi ilmanvaihtoa tehostetaan, kun sille on tarve, ei ole pahitteeksi. Tästä syystä myös ihminen vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen.

Talo pitää rakentaa energiatehokkaaksi kokonaisuudeksi, missä kaikki talon osat toimivat yhdessä saumattomasti. Ilmanvaihdon tehtävä on pitää asuinhuoneissa puhdas ja terveellinen ilma. Ilmanvaihto pitää myös huolen siitä, että ylimääräinen kosteus saadaan poistettua johdetusti, jolloin kosteus ei pääse tunkeutumaan rakenteisiin. Lämmityksessä pitää ottaa huomioon sen käyttämä energiamuoto ja kuinka hyvin lämmön talteenotto toimii. Rakenteet pitävät huolen miten lämpö pysyy sisällä.

3.2.1 Ilmanvaihto

Hyvän ilmanvaihdon perusideana on se, että puhdas ulkoilma tuodaan oleskelutiloihin kuten makuu- ja olohuoneisiin ja likainen ilma poistetaan likaisista tiloista kuten keittiöstä, WC:stä, pesu- ja kylpyhuoneesta sekä vaatehuoneesta. Tällöin ilma virtaa oleskelutiloista aputiloihin. Ilmanvaihdon pitää olla päällä kokoajan vähintään minimiteholla, vaikka rakennus olisikin tyhjä. Kun ilma vaihtuu oleskelutiloissa kerran kahdessa tunnissa, niin ilmanvaihto on sopivan tehokasta. Ilmanvaihtoa on hyvä tehostaa silloin, kun tehdään ruokaa, kuivatetaan pyykkejä, saunotaan tai sisäilma on muuten päässyt liikaa kostumaan. Terveellinen sisäilman kosteusprosentti tulisi olla 30–35 %. Energiatehokkaissa uudisrakennuksissa, joissa ilma vaihdetaan koneellisesti, voi kosteusprosentti tippua jopa 10 %. Liian kuiva ilma tuntuu epämiellyttävälle ja ärsyttää hengitysteitä, joten liian innokas ilmanvaihdon tehostaminen ei ole suositeltavaa asumismukavuuden kannalta. /12/

Ilmanvaihto perustuu paine-eroon, jonka voi toteuttaa kahdella eri tavalla, joko painovoimaisesti tai koneellisesti. Painovoimainen ilmanvaihto toimii lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksesta, jolloin lämmin likainen ilma virtaa ulos poistoventtiileistä. Painovoimainen ilmanvaihto ei kuitenkaan toimi, jos ulko- ja sisätilan lämpötilaero on liian pieni. Koneellinen ilmanvaihto järjestetään tuloilma-venttiileihin asennetuilla puhaltimilla, jotka aiheuttavat paine-eron rakennuksen ja ulkotilan välille. Painovoimainen ilmanvaihto ei ole niin toimiva, kuin koneellinen ilmanvaihto ja nykyisin energiatehokkasiin pientaloihin järjestetään koneellinen ilmanvaihto. Vaikka koneellinen ilmanvaihto kuluttaa energiaa, sen hyödyt rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden kannalta on tärkeitä. Lisäksi energiate-

hokkaat rakennukset tehdään jo niin tiiviiksi, että painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä voisi jäädä puutteelliseksi, jolloin ilman vaihtuminen sille suunnattuja reittejä pitkin ei toteutuisi ja sisäilman kosteus nousisi. Tämä aiheuttaisi kosteuden tunkeutumisen pieniin ilmavuotokohtiin ja rakenteiden vaurioitumisen. /12/

Suomen kylmässä ilmastossa on tärkeää, että ilma kulkee rakenteessa ulkoa sisälle, koska seinän sisään pääsevä ilmankosteus tiivistyy herkästi. Rakennuksen pitää olla tiivis, jotta lämmin ja kostea sisäilma ei pääse rakenteen lävitse. Tiivis rakennus, jossa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, pystytään hallitsemaan ilman vaihtumista paremmin, koska lähes kaikki ilma kulkee järjestelmän kautta. Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän etuina on myös mahdollisuus tuloilman suodattamiseen ja poistoilman lämmön talteenottoon.

3.2.2 Lämmitys

Pientalojen energiatehokkuutta tarkasteltaessa yksi suurimpia kysymyksiä on lämmitys. Kaikki asuinrakennukset pitää lämmittää ja se kuluttaa suurimman osan talojen energiantarpeesta. Jotta rakennuksen lämmityksestä saataisiin mahdollisimman energiatehokasta, se pitää järjestää oikein. Lämmitysjärjestelmän energia pitää olla uusiutuvaa, helposti saatavaa, halpaa ja ympäristöystävällistä. Energiatodistuksessa jo huomataan, että uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa.

Nykyään kaikki uudisrakennukset pyritään saamaan käyttämään kaukolämpöä ja maalämpöä. Se ei ole kuitenkaan aina mahdollista, koska lämpöputket eivät ylety kaikille asuinalueille. Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. Se on sähkön ja lämmön yhteistuotannossa turbiineista talteen otettavaa hukkalämpöä. Yhteistuotanto on energiatehokas tapa tuottaa energiaa. Kaukolämpö on myös ympäristöystävällistä, mutta se riippuu siitä millaisessa voimalaitoksessa sitä tuotetaan ja mitä polttoainetta voimalaitoksessa käytetään. Voimalaitos, joka käyttää polttoaineenaan uusiutuvaa energiaa esimerkiksi puuta, haketta, pellettiä tai bio-kaasua, niin ympäristövaikutukset vähenevät huomattavasti. Maalämpö on myös uusiutuvaa, ympäristöystävällistä ja käyttäjälleen huoletonta ja edullista.

4 RAKENTEET

Rakennuksen rakenteet ovat keskeinen osa rakennuksen energiatehokkuutta. Kaikki ulkovaipan osat pitää suunnitella perusteellisesti ja pohtia miten ne tulevat toimimaan eri sääolosuhteissa, miten ne pääsevät tuulettumaan ja kuinka liitokset toteutetaan, että rakennuksen tiiveys pysyy ehjänä. Suomi on pohjoinen maa, joten talvet ovat kylmiä, jolloin rakenteiden lämmöneristävyys pitää olla hyvin toteutettu. Suomessa on kuitenkin kuuma kesä, joten rakennus pitää saada myös tehokkaasti viilentymään, jotta asumismukavuus säilyisi. Suomi on haastava maa rakentaa juuri sen vaihtelevan ilmaston vuoksi. On vaikea löytää sopivia ratkaisuja, jotka palvelisivat myös lämpimän, että kylmän ilmaston kriteereitä.

4.1 Tiiviys

Rakenteiden tiiviys on ensisijaisessa osassa rakennuksen energiatehokkuutta. Niin kuin jo edellä mainitsin ilman pitää siirtyä rakenteissa ulkoa sisälle eikä päinvastoin. Jos lämmin ja kostea sisäilma pääsee rakenteiden läpi, pääsee kosteus tiivistymään rakenteiden sisälle. Tämä antaa hyvät edellytykset homeen ja lahon synnylle rakenteiden sisällä. Kun homea pääsee syntymään rakenteisiin, se pilaa koko rakennuksen hyvinvoinnin. Home on myös ihmisten terveydelle erittäin haitallista.

Rakennuksen tiiviyttä mitataan tiiviysmittauksilla, joka määrittää rakennuksen ilmavuotoluvun n_{50} . Mitä pienempi luku saadaan, sitä vähemmän rakennuksessa on ilmavuotokohtia. Tämänhetkisten määräysten mukaan ilmavuotoluku saa vähintään olla 2 l/h, mutta energiatehokkaaseen rakentamiseen pyrkiessä, luvun pitäisi olla paljon alhaisempi. Opinnäytetyön energiatalojen kohdalla käytiin lävitse, mitä lukeman pitäisi olla, jotta päästäisiin mahdollisimman energiatehokkaaseen tulokseen.

Nykyisten määräysten ja eristävyysparantamisen takia, seinistä on tullut erittäin paksuja. Paksu eristekerros ei ole pelkkä ratkaisu siihen, että rakennuksesta tulisi energiatehokas, koska eristepaksuuden lisääminen kasvattaa ilmavuotoriskiä, jolloin myös tiivistyksen merkitys kasvaa. Paksu eristekerros alentaa talon

vaipan lämpötilaa, jolloin pienetkin vuotokohdat voivat aiheuttaa riskin rakenteille. Ulkovaipan viilentyminen johtuu siitä, kun paksu eristekerros sulkee sisällä olevan lämpimän ilman, jolloin se ei pääse lämmittämään seinärakenteen ulointa osaa. /14/

Tiivis ulkovaippa antaa paljon etuja rakennukselle. Esimerkiksi se säästää rahaa ja energiaa, kun lämmin ilma pysyy sisällä. Tiivis rakennus on vedoton, kun ilma ei pääse vapaasti kulkemaan ilmavuotokohdista. Kosteus ei pääse tiivistymään rakenteiden sisälle tiiviin ilman- ja höyrynsulkumuovin takia. Tiivis pinta parantaa myös paloturvallisuutta ja ääniolosuhteita ja torjuu hajuja, pölyjä, mikrobeja ja radonia. /14/

4.2 Energiatehokkaat materiaalit

Rakennusmateriaaleja valittaessa energiatehokkaaseen rakennukseen, pitää olla tietyt kriteerit mielessä. Kaikki materiaalit eivät täytä kaikkia energiatehokkuuden kriteereitä, mutta ne täytyy valita rakennuspaikan ja omien mieltymyksien mukaan. Rakennuskaava määrittää tontille joitakin reunaehtoja, millaisen rakennuksen siihen saa rakentaa. Omat mieltymykset antavat myös suuntaa siihen mitä pitää itse tärkeänä rakennusmateriaaleissa. Rakennusmateriaali on energiatehokasta jos se on uusiutuvaa, lämmönpitävää, kestävää, terveellistä ja se on halpaa ja helppo työstää.

Uusiutuva luonnonvara kuten puu on erittäin ekologinen rakennusmateriaali ja nykypäiväisillä rakennusmenetelmillä siitä saadaan rakennettua erittäin energiatehokkaita rakennuksia. Puutu on myös helppo työstää ja se on lisäksi suhteellisen edullista. Helppo työstettävyys antaa hyvät edellytykset puun muokkaamiselle. Puusta pystytään helposti muokkaamaan esimerkiksi erilaisia liitoksia. Puu on myös kestävä ja suhteellisen kevyt rakennusmateriaali. Oikein työstetty puupalkki pystyy kannattelemaan isojakin kuormia. Puusta pystytään tekemään myös hyvin lämmönpitävää, kun se lämpökäsitellään. Niin sanottu ThermoWood, joka on käsitelty 160 asteen lämpötilassa, antaa puulle hyvän lahonkeston-, säänkeston- ja lämmönpitävyyden sekä pienentää puun kosteuselämistä. Lämpökäsiteltyä puuta ei kuitenkaan käytetä rakennuksen kantavissa osissa, koska lämpökäsittelyssä

puun puristuslujuus heikkenee. Lämpöpuuta käytetään siis ulkoverhouksiin, kattoon, seiniin, lattiaan, saunoihin ja kalusteisiin. Puu on kuitenkin elävä materiaali, joten rakennusvaiheessa on pidettävä huoli siitä, että taloista tulee tiiviitä ja rakenteet pääsevät tuulettumaan. Tuulettuva rakenne on puurakentamisessa suosituin, koska siinä varmistutaan rakenteen kosteusteknisestä toimivuudesta. /15/

Tiilillä ja harkolla on myös energiatehokkaita ominaisuuksia. Nämä ovat rakennusmateriaalina erittäin kestäviä ja pystyvät kannattelemaan isojaakin kuormia. Ne kestävät hyvin eri sääolosuhteista ja kovaa pakkasta. Tiili on terveellinen, puhdas ja turvallinen rakennusmateriaali, koska se ei sisällä mitään ilmaan haihtuvia haitallisia aineita. Tiili ei myöskään homehdu, koska se on epäorgaanista ainesta ja se pitää rakennuksen kosteustasapainon kunnossa sen huokoisuuden ja alhaisen vesihöyrydiffuusiokertoimen ansiosta. Tiilirakenne pysyy talvella lämpimänä ja kesällä viileänä, koska massiivinen tiilirakenne pystyy varastoimaan lämpö ja luovuttamaan sitä tasaisesti ja hitaasti. Tiilien lämpö- ja kosteusliikkeet ovat pieniä, joten se toimii hyvin eristävänä rakenteena. Lisäksi tiilellä on monipuoliset käyttömahdollisuudet. Tiilestä pystytään rakentamaan kantavia että kantamattomia seiniä sekä kosteiden tilojen seinärakenteita. /16/

4.3 Lämmöneristäminen

Energiamääräykset tulevat tiukentumaan tulevaisuudessa entisestään ja rakentaminen on menossa kohti nollaenergiarakentamista. Uudisrakentamisessa pitää jo nykypäivänä miettiä tarkkaan parempia rakenneratkaisuja ja U-arvoja. Rakennettaessa kannattaa harkita nykyhetkisiä määräyksiä energiatehokkaampia rakenteita, koska myöhemmässä vaiheessa lisäeristäminen tulee kalliiksi ja vaatii purkutöitä. /17/

Uudisrakentamisessa energiatehokkaat ratkaisut kannattaa keskittää seinien ja yläpohjan lämmöneristämiseen, koska lämpöhäviöt alapohjan vaipan kautta ovat huomattavasti pienempiä kuin yläpohjan. Rakennuksessa lämpö pyrkii poistumaan paine-eron ja korkeimman lämpötilaeron takia seinien ja yläpohjan kautta. Alapohja on kuitenkin tärkeä osa rakennuksessa ja asumisviihtyvyyden kannalta alapohja kannattaa eristää hyvin. Rakennuksen alla oleva maaperä pääsee talvisin

viilentymään, jolloin lämpöhäviötä on mahdollista, jos alapohja on huonosti eristetty tai tiivistetty. /17/

Markkinoilla on useita eri eristysmateriaaleja, joiden suurimpia valmistajia Suomessa ovat ISOVER, FINNFOAM ja Paroc. Valmistajat ovat kehittäneet monia erilaisia eristysmateriaaleja, jotka toimivat rakennuksen eri osissa pitämällä rakennuksen lämpimänä ja tiiviinä. Opinnäytetyössäni olen keskittynyt pääsääntöisesti ISOVER:in ja FINNFOAM:in eristeratkaisuihin.

Eristemateriaaleja kehitetään jatkuvasti ja niille yritetään kehittää uusia ominaisuuksia, jotka parantaisivat rakenteen toimivuutta. Ominaisuuksien parantaminen voi kuitenkin kääntyä ongelmaksi. Esimerkiksi eristeiden vesihöyrynvastuksen lisääntyessä ongelmaksi ilmenee rakenteiden kuivuminen. Erityisesti kivirakenteissa seinissä sisäpuolisen kivirakenteen kuivuminen hidastuu, jos vesihöyry ei pääse poistumaan. Tämän johdosta tiivistyksen tarve lisääntyy, jotta kosteutta ei pääsisi kivirakenteiden sisäpuolelle. /21, 2/

4.3.1 Konvektio

Liian paksu eristekerros lisää myös rakenteen sisäistä konvektiota. Sisäinen konvektio kuljettaa ilmaa eristeen sisällä ja estää kosteuden poistumista rakenteesta. Lämpötilaero ulkoseinän ja sisäseinän välillä aiheuttaa konvektion syntymisen. Kun seinärakennetta paksunnetaan eristeillä, konvektion nopeus kasvaa eksponentiaalisesti. Tämä ilmiö ei kuitenkaan lisää kosteuden määrää, mutta nopeuttaa kosteusvaurion syntymistä, jos kosteus ei pääse poistumaan rakenteista. Talvella eristekerroksen ulkopuoli viilenee, jolloin sisempipuoli jää lämpimämmäksi. Jos eristeeseen on päässyt ilmapuodon kautta lämmintä ja kosteaa ilmaa, se alkaa kohota ylöspäin. Kun ilma lopulta viilenee, se painuu alaspäin ja kastepisteen saavuttaessaan se pääsee tiivistymään rakenteen uloimpiin osiin, jos rakenteelle ei ole järjestetty riittävää tuuletusta. Kesällä tilanne on päinvastainen ja kosteus voi päästä tiivistymään sisempiin osiin. /22/

Seinärakenteissa sisäinen konvektio ei ole merkittävää, jos eristekerroksen paksuus on enintään 200 mm. Jos eristeen yhtenäinen paksuus ylittää 300 mm, sen

sisäinen konvektio lisää lämpöenergian kulutusta keskimäärin noin 10 %. Pysytysuuntaiset konvektiokatkot voivat vähentää konvektion syntymistä, mutta eivät välttämättä poista sitä kokonaan. Konvektion syntyminen yläpohjaan on yleisempää, koska siellä käytetään paksua (600 mm) puhallusvillaeristettä. /21, 22/

4.4 Alapohjarakenneratkaisut

Alapohjissa energiatehokkaimmat rakenneratkaisut ovat maanvarainen ja tuulettuva alapohja (”rossipohja”). Maanvarainen alapohja on suositumpi ympärivuotisessa käytössä olevalle pientalolle. Kun rakennuksessa pidetään lämmöt ympärivuotisesti päällä, maanvarainen alapohja on kosteusteknisesti toimivampi kuin tuulettuva alapohja. Tuulettuvia alapohjia käytetään enemmän loma-asunnoissa, koska ne päästetään kylmenemään tiettyinä vuodenaikoina. Tuulettuva rakenne varmistaa rakenteen kuivumisen, kun rakennuksen sisälämpötila laskee lähelle ulkolämpötilaa. Tällöin minimoidaan mahdolliset homevaurioriskit.

Finnfoam on kehittänyt hyvän eristemateriaalin, joka lämmönpitävyytensä ansiosta antaa erittäin energiatehokkaan ratkaisun sekä maanvaraiseen, että tuulettuvaan alapohjaan. Kyseisiä ratkaisuja käytetään passiivienergia ja nollaenergiataloissa ja ne ylittävät helposti nykyisten energiamääräysten tason.

4.4.1 Maanvarainen alapohja

Olen kuvannut (Liite 1) maanvaraisen alapohjan rakenneratkaisun, jossa käytetään eristeenä Finnfoam FL-300:sta. Alapohja on hyvin yksinkertainen, mutta sillä päästään erittäin hyviin U-arvoihin vain lisäämällä eristeen paksuutta. Eristelevyn lämmöneristyskyky on lähes riippumaton käyttöolosuhteista ja sen lämmönjohtavuus on 0,026 W/(m K). Finnfoam-eristelevy on rakenteeltaan vettä hylkivää ja sen solurakenne on suljettu ja yhtenäinen, jolloin se toimii hyvin myös kapillaarisena katkona ja höyrynsulkuna. Eristelevy kestää myös hyvin pakkasta, jolloin se toimii myös routaeristeenä. Kaikkien hyvien ominaisuuksien ansiosta alapohjarakenteeseen ei tarvita muita eristelevyjä. Jotta alapohja olisi täysin toimiva pitää rakennusvaiheessa poistaa kaikki humusmaa eli eloperäinen maa-aines. Perusmaan päälle, jonka kallistus on 1:50 salaojiin, levitetään suodatinkangas, jotta

yläpuolinen hiekkakerros ei pääse valumaan veden mukana. Vesi pääsee nousemaan hiekkakerrokseen, mutta ei enää sepeliin, joka toimii kapillaarikatkona. Sepeliä pitää olla vähintään 200mm. Eristelevyt voidaan asettaa suoraa sepelin päälle ja teräsbetoni eristelevyjien päälle. Rakennusvaiheessa eristeen alhainen vesihöyryläpäisevyys antaa betonilaatan kuivua vain ylöspäin, mikä hidastaa kuivumista jonkin verran. Saman ominaisuuden ansiosta eriste pitää laatan myös kuivana vaikka kosteutta pääsisikin maaperästä nousemaan. /18/

4.4.2 Tuulettuva alapohja

Tuulettuva alapohja (Liite 2) on myös hyvin energiatehokas ratkaisu alapohjaksi. Finnfoam on suunnitellut oman rossipohjaeristelevyn, jonka korkea puristuslujuus ja jäykkyys mahdollistavat rossipohjan yksinkertaisen rakenteen. Alapohjasta tulee erittäin tiivis kun, saumat täytetään elastisella ja joustavalla PU-saumavaahdolla. Rakenteen päälle pystytään rakentamaan suoraa betonilaatta, johon voidaan asentaa vesikiertoinen lattialämmitys. Rossipohjaeristeen päälle voidaan myös rakentaa lankkulattia tai lattialevytys, jonka pintarakenteeksi voidaan asentaa laminaatti tai parketti. /18/

Niin kuin kaikissa alapohjissa humusmaa on poistettava rakenteiden alta ja korvattava muulla ei eloperäisellä materiaalilla (Liite 2). Tässä rakenteessa perusmaa on tasoitettu kuivalla hiekalla. Hiekan päälle asennetaan Finnfoamin lämmöneriste, joka estää maan routimisen ja liiallisen kosteuden pääsyn ryömintätilaan. Ryömintätilan korkeus vaihtelee puolesta metristä metriin, mutta mitä suurempi tila on sitä paremmin ilma pääsee vaihtumaan. Tässä esimerkissä ryömintätilan korkeus on 800mm ja tuuletusaukkojen määrä on talon sokkelin pinta-alasta 4–8%. Itse alapohja rakennetaan kantavien lattiavasojen varaan, mitkä ovat esimerkiksi kertopuuta. Kertopuu on joko maalattua tai painekyllästettyä, jolloin se ei pääse helposti kostumaan. Eristelevyt tiivistetään lattiavasoihin joustavalla polyuretaanivaahdolla. Lattiavasojen päälle asennetaan itse rossipohjaeriste, joka on paksuudeltaan 210mm. Tällä eristemäärällä päästään U-arvoon 0,087, joka on erittäin energiatehokas. Eristekerroksen päälle voidaan valaa teräsbetonilaatta tai

lattialevytyks huoneselityksen mukaan. Tätä alapohjaratkaisua käytetään passiivi- ja nollaenergiataloissa.

4.4.3 Alapohjarakenteiden hyödyt ja haitat

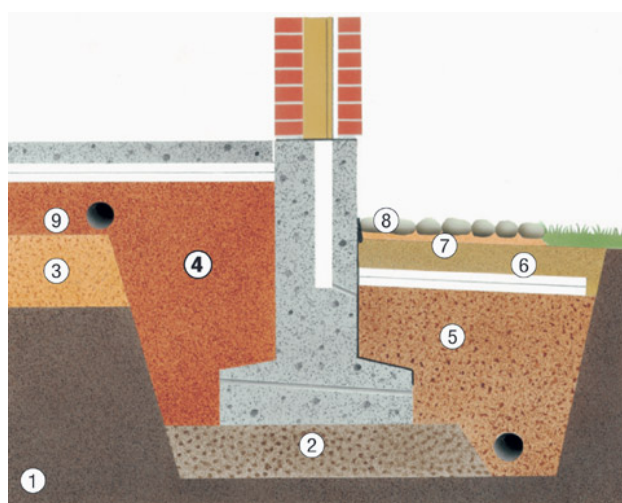
Tuulettuvan alapohjan kriittisin ajankohta on kesä. Kesällä ulkoilmassa on suuri määrä kosteutta ja tuuletustilan lämpötila on alhaisempi kuin ulkolämpötilan. Tämä tarkoittaa sitä, että lämmin kostea ilma virtaa tuuletustilaan ja tiivistyy rakenteiden kylmiin pintoihin. Vaikka ryömintätilan tuuletus olisikin kunnossa tätä tapahtuu väistämättä. Pahin mahdollinen aika on kesällä pitkään jatkuvan sateisen lämpimän jakson aikana. Tällöin kosteuden tiivistymiseltä ei voida välttää.

Kosteuden pääsyä ryömintätilaan voidaan kuitenkin vähentää estämällä kosteuden nousun maaperästä. Liitteessä 2 on osoitettu: Maaperän päälle voidaan asentaa eristekerros, joka estää kosteuden nousun maaperästä. Kosteuden poistumista voidaan myös tehostaa ryömintätilan ilman kuivatuksella tai lämmityksellä, mutta tähän tarvitaan erilliset koneet, jotka vievät osan talon energiankulutuksesta.

Tuulettuvan alapohjan yleisimpiä ongelmia ovat riittämätön tuuletus, tuuletusilman estyminen esimerkiksi ison puupalkin johdosta, ryömintätilan matala rakenne, eloperäinen materiaali ryömintätilassa, maanpinta alempana kuin rakennuksen ympäröivä maa, jolloin vesi pääsee valumaan rakennuksen alle. Lisäksi alapohjassa ei saisi käyttää kosteudelle arkoja materiaaleja. Tuulettuvaa alapohjaa rakentaessa pitää näihin kohtiin kiinnittää erityistä huomiota, jotta rakenteesta tulisi täysin toimiva kokonaisuus. /19/

Maanvaraisella alapohjalla riskit eivät ole riippuvaisia vuodenajoista. Tämän takia maanvaraista alapohjaa suositaan enemmän. Suurin riski maanvaraisella alapohjalla on kosteuden nouseminen maaperästä ja sen tiivistyminen lattiarakenteisiin. Rakennusvaiheessa pitää varmistua betonilaatan kuivumisesta ja antaa sille riittävästi aikaa kuivua. Jos lattiapinnoite asennetaan liian aikaisin ja kosteutta jää rakenteiden sisälle, se pääsee vahingoittamaan ajan kuluessa lattiarakenteita. Oikein rakennettu maanvarainen alapohja ei aiheuta ongelmaa rakennukselle. Suurimmat riskit kosteusvaurioille voi kuitenkin aiheutua rakennuksen ulkopuolelta, esimer-

kiksi väärin asennettu salaoja, kapillaarikatkon puuttuminen tai maan viettäminen väärään suuntaan voi altistaa rakenteet kosteusvaurioille. Kosteus pääsee kulkemaan rakenteiden sisällä märkinä ajanjaksoina, jolloin pitää varmistua siitä, että se pääsee myös kuivumaan kuivana ajanjaksona. Kosteusvaurioilta vältetään kun, salaojat sijoitetaan anturan alapuolelle ja maa viistetään rakennuksesta pois päin. Lisäksi pitää asentaa riittävän suuri kapillaarinen katko sokkelin ja maaperän väliin. /19/



1. Perusmaa
2. Kantava murske
3. Karkeatäyte
4. Kapillaarikatko
5. Salaojakiviaines
6. Hienotäyttö
7. Kivituhka
8. Sepeliä
9. Tuuletusputkisto

Kuva 1. Oikeaoppinen maatäyttö. /20/

Molemmille rakenneratkaisuille haittapuoleksi kääntyy eristekerroksen paksuus. Mitä paksumpi eristekerros alapohjaan rakennetaan, sitä pahemmin se voi painua, sen päälle tulevien kuormien johdosta. Jos alapohjan eristekerros pääsee painumaan, se voi vahingoittaa alapohjan liitoskohtia, joka voi aiheuttaa ilmavuotojen syntymisen. Täten pitää valita sellainen eristysmateriaali, joka pystyy ottamaan hyvin alapohjan oman kuorman vastaan.

4.5 Seinärakenneratkaisut

Ulkoseinän rakenne on yksi suurimmista osatekijöistä, jotka vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen. Ulkoseinät muodostavat rakennuksen vaipan ylä- ja alapohjarakenteiden kanssa. Seiniin kohdistuu paljon erilaisia rasituksia, jotka seinärakenteen pitää kestää, esimerkiksi tuuli, lämpötila, kosteus, paine yms. Sei-

närakennetta suunniteltaessa pitää ottaa huomioon kaikki sille kohdistuvat rasitukset ja energiamääräysten toteutuminen. Lisäksi matalaenergiatalot vaativat näiltä osilta paljon enemmän.

Pientalorakentamisessa tuulettuvat rakenneratkaisut ovat varsin yleisiä, varsinkin puurunkoisissa seinärakenteissa. Seiniin kohdistuu paljon kosteusrasitusta etenkin viistosateen aikana, jolloin tuulettuvalla seinärakenteella varmistutaan rakenteen kosteustekninen toiminta. Tuuletusraon ansiosta rakenteissa oleva kosteus pääsee poistumaan ja välttyään ulkoiselta kosteusrasitukselta. Kun kosteus pääsee vapaasti poistumaan rakenteista, niin seinä pysyy kuivana. Ulkoseinien pitää olla myös erittäin ilmatiiviitä, erityisesti puurakenteisten seinien. Ulkopuolen ilmatiivyeys estää tuulen tuoman kosteuden pääsemisen rakenteisiin ja sisäpuolen tiivistys estää lämpimän ja kostean sisäilman pääsemisen rakenteisiin. Ulkoseiniin ei saa myöskään muodostus kylmäsiltoja, joiden pintaan kosteus pääsisi tiivistymään. Seinärakenteen sisäpuolisella ristikoolauksella saadaan höyrynsulkumuovi pysymään ehjänä ja tiiviinä. Lämmöneristeen ulkopuolella tuulensuojaeriste estää kylmäsiltojen muodostumisen ulko- ja sisäpuolen välille.

Seinärakenne sisältää paljon sähkötekniikkaa ja ne tarvitsevat omat läpivientinsä ja tilansa. Kun höyrynsulkumuovi asennetaan enintään 50 mm syvyydelle seinän sisäpinnasta, niin sitä ei tarvitse rikkoa sähköasennuksia tehtäessä. Lisäksi lämmöneristekerroksesta vähintään 75 % pitää olla höyrynsulkumuovin ulkopuolella. Sisäpuolista lämmöneristettä ei suositella asentaa höyrynsulun sisäpuolelle ennen kuin rakennusaikainen kosteus on kuivunut. /21, 11/

Matalaenergiataloissa halutaan rajoittaa kylmäsiltojen ja ilman vaikutusta entistä enemmän, jolloin ilmatiivyyden parantaminen korostuu. Eristemateriaalin lisäämisestä ei saada vastaavaa hyötyä runkotolppien välistä, jolloin pitää kiinnittää erityistä huomiota yhtenäiseen eristekerrokseen rakennuksen vaipassa. Yhtenäinen eristekerros parantaa myös rakenteen kosteusteknistä toimintaa ja pitää rungon huomattavasti lämpimämpänä. Tuulensuojaeristeen yhtenäistäminen kivirunkoisissa seinissä vähentää huomattavasti rakennuksen lämpöhäviötä, jolloin kivirunkoon varastoitunut lämpö vapautuu tarvittaessa vain sisälle. /17/

4.5.1 Tuulettuva puurunkoinen ulkoseinä

Rakenne on tyypillinen Isoverin käyttämä matalaenergiataloissa käytetty kantava ulkoseinä rakenne (Liite 3). Rakenteessa toimii tuulensuojaeristeenä Isoverin RKL-31 Facade, joka toimii myös lämmöneristeenä Isoverin KL-33:n kanssa. Tuulensuojalevyn pinnoite estää tuulen ja myös vesihöyryn läpäisemisen. Tuotteen lämmöneristysarvo on vain 0,031 W/mk, joka on yksi markkinoiden parhaimmista. Lämmöneriste Isover KL-33 eroaa tuulensuojalevystä siinä, että se ei ole pinnoitettu. KL-33:sta käytetään vain rakenteiden sisällä. Piirustuksesta näkee hyvin sisäpuolisen ristikoolauksen, jonka alla höyrynsulkumuovi pääsee ehjänä kulkemaan. Tällä rakenteella päästään lämmönläpäisykertoimeen 0,14 W/m²K, joka täyttää hyvin matalaenergiatalon vaatimukset. /17/

Passiivienergia- ja lähes nollaenergiarakenne eroaa matalaenergiarakenteesta vain eristepaksuudessa ja tuuletusraossa (Liite 4). Lämmöneristettä on laitettu yli tuplasti enemmän ja tuuletusrako on kaksi kertaa suurempi. Lisäksi rakenteen ulkopuoliseen osaan tuulensuojalevyn taakse on asennettu kipsilevy Gyproc GHU 13 Hydro. Tämä levy tehostaa entisestään kylmäsiltojen syntymistä, jota yritetään passiivi ja nollaenergiataloissa minimoimaan. Lisäksi tehokas ulkopuolinen eristys vähentää konvektion syntymistä talvella. Näitä kahta (Liite 3 ja liite 4) vertailemalla huomaa, että aika helpoilla ratkaisuilla päästään parempaan lämmönpitävyyteen. Eristekerroksen lisääminen nostaa hieman rakennuskustannuksia, mutta sen hyöty pitemmällä aikavälillä maksaa itsensä takaisin energiankäyttö kustannuksissa. Näin paksussa eristekerroksessa voi kuitenkin sisäinen konvektio tulla ongelmaksi, jos tuuletus tai höyrynsulku on puutteellinen. Puurunkoisella passiivirakenteella päästään lämmönläpäisykertoimeen 0,086 W/m²K, joka sijoittuu passiivienergia- ja nollaenergianratkaisun väliin. Rakennetta voisi kutsua lähes nollaenergiarakenteeksi, riippuen tietenkin siitä miten rakennuksen muut rakenteen ja talotekniikka ovat toteutettu. /17/

4.5.2 Tuulettuva kivirunkoinen ulkoseinä

Pientalojen ulkoisiin kiviseiniin on hyvä myös asentaa tuuletusraot, koska tiilet imevät kosteutta suhteellisen paljon, jolloin se pitää saada myös kuivumaan (Liite

5). Jos kosteus ei pääse poistumaan rakenteesta, se voi aiheuttaa kosteusvaurion rakenteen sisälle. Talvisin myös pakkasrapautuminen on kiviseinien ongelma, jolloin tiilen huokosiin päässyt vesi jäätyy ja siitä syntyvä paine rikkoo tiilen rakenteen. Tuuletusraon lisäksi tiiliseinään pitää jättää aukkoja pystysaumojen kohtiin, jotta ilma pääsisi vapaammin kulkeutumaan seinän taakse. Tiiliseinän taakse asennetaan tuulensuojalevy, samasta syystä kuin puurunkoiselle seinälle. Jos kyseessä olisi tiiliverhottu puurankaseinä, sen tuulensuojan eristävyys ja homeenkestävyyden merkitys kasvaisi entisestään, koska tiiliverhoukseen kerääntynyt kosteus siirtyy helposti rakenteisiin diffuusion avulla. /17; 21, 13/

Energiatalot vaativat paksun eristekerroksen, mikä tekee seinistä massiivisia. Tällä rakenteella (Liite 5) on 300 mm eriste ja molemmin puolin kivirakenne, joka tekee seinästä 670 mm leveän. Rakenteella päästään lämmönläpäisykertoimeen $0,078 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on erittäin hyvä, mutta lämmönläpäisykerroin ei ole kaikki kaikessa. Niin kuin olen jo edellä maininnut, rakennekaksuuden kasvaessa sen uloimpien kerrosten on vaikeampi pysyä lämpimänä ja mitä lähemmäs rakenteen lämpötila laskee 0 astetta, sitä helpommin kosteus tiivistyy. Tiiliseinä varastoi paljon lämpöenergiaa, joka pitää paksun rakenteen lämpimänä. Massiiviset kivirunkoiset ulkoseinät eivät tarvitse erillistä höyrynsulkumuovia, joten se on jätetty kokonaan pois. Tiiliseinä pinnoitetaan yleensä rappaamalla tai muulla pinnoitemateriaalilla, joka toimii ilman- ja höyrynsulkuna. Tiiliseinien liitoksien tiiveys pitää kuitenkin varmistaa, koska paksu rakenne tehostaa ilmavuotokohtien haitallisuutta. /17/

Kivirakenteilla päästää hyvin energiatehokkaisiin ratkaisuihin ja yleensä liitosratkaisutkin ovat hyvin yksinkertaisia, koska ei tarvitse pelata höyrynsulkumuovin kanssa. Tiilien valmistaminen kuluttaa kuitenkin paljon energiaa, jolloin se ei ole yhtä ekologinen materiaali kuin puu. Asumisviihtyvyyden kannalta sisäilman laatu erittäin tärkeä. Kumpikaan materiaali ei luovuta sisäilmaan haitallisia yhdisteitä, kun ne eivät pääse kosteuden kanssa kosketuksiin.

4.5.3 Hirsirunkoinen ulkoseinä

Hirsirunkoista seinää käytetään vähän omakotitalojen rakentamiseen, mutta sillä päästää hyvin matalaenergiavaatimukseen. Tällä hirsiseinärakenteelle (Liite 6) saadaan lämmönläpäisykerroin $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on matalaenergiavaatimusten tasolla. Hirsitalojen rakentamisen suurin hyöty nähdään sen ekologisuudessa. Hirsitalojen rakentaminen on erittäin ekologista. Kun verrataan hirsitalojen valmistusvaiheen ekologisuutta muihin materiaaleihin, ne ovat siinä terävintä kärkeä. Hirsitalot eivät kuitenkaan pärjää kivirunkoisten talojen energiatehokkuudelle rakennuksen käyttövaiheessa. /17/

Hirsitaloja rakentaessa pitää kiinnittää erityistä huomiota rakenteiden tiiviyyteen. Rakenteet tarvitsevat sisäpuolisen höyrynsulun ja ulkopuolisen tuulensulun, pitääkseen rakenteen lämpimänä ja kuivana. Rakenteen eristyskerrosta pystytään lisäämään, jotta lämmönläpäisykerroin saataisiin suuremmaksi, mutta hirsi ei pysty samaan lämmönvarastointiin kuin tiili, jolloin rakenteen lämpötila pääsisi helpommin laskemaan lähemmäs nollaa rakenteen uloimmissa osissa. Hirsirakentaminen on hyvässä nousussa pientalorakentamisessa, mutta tulee aina olemaan loma-asuntorakentamisen ykkönen.

4.6 Yläpohjarakenneratkaisut

Rakenneratkaisu yläpohjan osalta pitää olla erittäin tiiviitä ja eristäviä, koska lämmin ilma pyrkii poistumaan suurimmaksi osaksi yläpohjan kautta paine-eron tasaantumisen vuoksi. Energiämääräyksissä yläpohja on saanut kaikista tiukimmat vaatimukset rakenteen U-arvon osalta. Yläpohjalle vaaditaan vähintään $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ normaalirakenteiselle yläpohjarakenteelle. Energiatehokas talo vaatii paksumaa eristekerrosta, johon on yhteytetty ilmatiivis kokonaisuus ja riittävä tuuletus. /17/

Yläpohja on osa rakennuksen ulkovaippaa ja myös siinä korostuu rakenteen ilmatiiviyys ulko- ja sisäpuolelta. Yläpohja ei ole kuitenkaan helppo saada ilmatiiviiksi, koska katon kautta kulkevat läpiviennit vaikeuttavat tiivistyksen toteuttamista. Läpivientien määrä pitäisi minimoida ja niiden tiivistys pitäisi suorittaa huolelli-

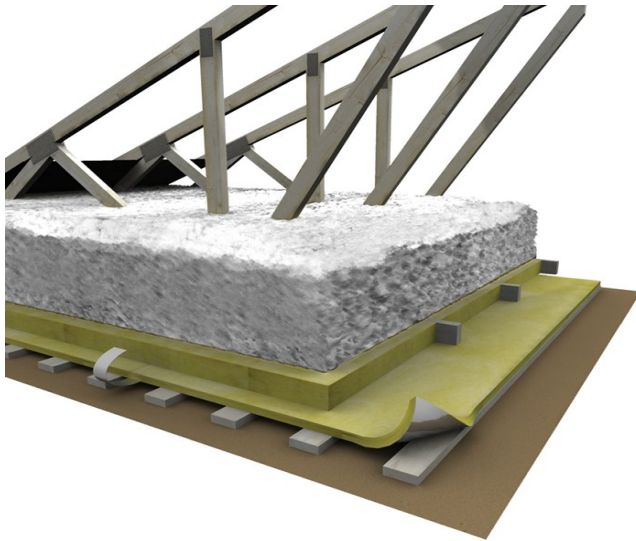
sesti, esimerkiksi polyuretaanipohjaisella massalla tai vaahdolla. Rakennuksen katto on ympärivuotisesti alttiina sääolosuhteille, joten siihen kohdistuu paljon tuuli- ja kosteus rasituksia. Rakenteen lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta yläpohjan tuulensuoja ja tuulenohjaimien oikeaoppinen asennus on erityisen tärkeää. Vesikaton aluskate pitää asentaa koko katon matkalle ja sen pitää ulottua riittävän pitkälle räystäään päälle, jotta katosta läpi pääsevä vesi ei pääse valumaan ulkoseinää pitkin (Liite 10). /17/

Yläpohjaan pääsee kuitenkin aina hieman kosteutta, joten sen poistaminen riittäväällä tuuletuksella on tärkeää. Räystäiden alle on jätettävä riittävän suuri rako, josta ilma pääsee yläpohjan ja vesikaton väliseen tilaan. Tuulenohjaimilla varmistetaan se, että tuuli ei pääse puhaltamaan suoraan yläpohjaan, jolloin puhallusvilla liikkuisi epätasaisiksi kerroksiksi. Pientaloissa tyypillisimpiä yläpohjaratkaisuja ovat ristikko- ja vinorakenteiset yläpohjat. Molemmissa rakenneratkaisuissa pystytään käyttämään paksua eristekerrosta, jolloin päästään erittäin energiatehokkaisiin rakenneratkaisuihin. /17/

4.6.1 Ristikkorakenteinen yläpohja

Ristikkorakenteisen yläpohjan lämmöneristeenä käytetään yleisimmin mineraalivilloilla toteutettua puhallusvillaeristettä (Liite 7). Tässä rakenteessa on käytetty Isoverin PUH KV-041 puhallusvillaa. Isoverin puhallusvilla on ekologinen valinta, koska se on osittain valmistettu kierrätyslasista ja sen paloluokitus on toteutettu ilman myrkyllisiä palonestoaineita. Puhallusvilla on epäorgaanista ainesta, joten home ei pääse siinä kasvamaan. Puhallusvilla on helppo asentaa ja sen lisääminen myöhemmin on mahdollista. Puhallusvillan alle on suositeltavaa asentaa vielä erillinen levyvilla, joka lepää kattokannattajien välissä ja harvalaudoituksen päällä. Levyvilla antaa lämpimän pinnan puhallusvillalle ja se saadaan yläontelossa kulkevien ilmanvaihtokanavien ja tuulijäkisteiden alle, jonne puhallusvilla ei helposti pääse tunkeutumaan. Puhallusvilla asennetaan tämän levyn päälle tasaiseksi kerrokseksi. Levyvilla vähentää myös eristeen sisäistä konvektiota. Puhallusvillan päällä ei saa enää kävellä, koska se painuu helposti. Puhallusvillaa ei ole tarkoitus asentaa tiiviisti, vaan sen huokosiin pääsevä runsas ilma toimii erinomai-

sena lämmöneristeenä. Huonetilan lämmin ja kostea ilma ei saa päästä yläpohjarakenteisiin, joten huolellinen tiivistys pitää järjestää. Höyrynsulkumuovi asennetaan harvalaudoituksen ja levyvillan väliin tiiviiksi kokonaisuudeksi. Kyseisen rakenteen U-arvoksi saadaan $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka vastaa passiivienergiatalon vaatimukseen. /17/



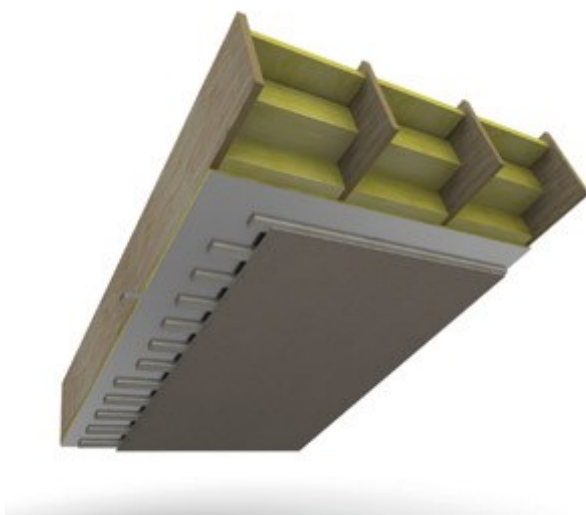
Kuva 2. Ristikkorakenteinen yläpohja /17/

4.6.2 Vinorakenteinen yläpohja

Vinorakenteinen yläpohja (Liite 8) antaa rakennukselle huonekorkeutta lisää, koska kylmä ullakkotila puuttuu kokonaan. Rakennus tulee kokonaisvaltaisemmin käyttöön, kun yläpohjan ullakkotila jää käyttämättä. Rakennuksista pystytään tekemään tällä yläpohjaratkaisulla puolitoista kerroksisia. Rakennuksesta tulee hieman matalampi ja saadaan puoli kerrosta asuinkäyttöön.

Vinorakenteinen yläpohja rakentuu leveistä puisista kattopalkkeista, joiden välit täytetään eristemateriaalilla. Rakenne on hyvin samanlainen, kuin seinän rakenne. Yläpohjassa on ulkopuolinen tuuletusrako vesikatteen ja tuulensuojalevyn välissä. Eristemateriaalia pystytään asentamaan juuri sen verran kuin puupalkin leveys. Tässä rakenteessa eristemateriaalin paksuus on 625 mm. Eristeenä on käytetty Isoverin KL-33:sta, joka on samaa mitä seinissäkin käytetään. Rakenteessa ei ole käytetty ollenkaan höyrynsulkumuovia, koska Isoverin REK-31 alumiinipintainen

mineraalivilla toimii myös höyrynsulkuna. Isoverin REK-31 on korjausrakentamisessa ja uudisrakentamisessa käytetty eristelevy, jota käytetään, kun halutaan erinomaista eristävyyttä kuten passiivitaloissa. Alumiininen pinta antaa levyllä höyrynsulkuominaisuuden ja saumojen teippaus tekee katosta tiiviin kokonaisuuden. Jos seinissä on käytetty höyrynsulkumuovia, voi katon myös rakentaa muovilla, jotta saataisiin yhtenäinen höyrynsulku koko rakennuksen ympärille. Vinorakenteinen yläpohja ei altistu sisäiselle konvektiolle yhtä herkästi kuin ristikkorakenteinen yläpohja, koska sen eristys on toteutettu pelkästään levyeristeillä. Levyeristeet ovat tiheimpiä kuin puhallusvillaeristeet, jolloin ilma ei pääse niissä yhtä vapaasti kulkemaan. Tällä yläpohjaratkaisulla päästään nollaenergiavaatimuksiin $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$. /17; 21, 23/



Kuva 3. Vinorakenteinen yläpohja /17/

4.7 Liitosratkaisut

Liitokset ovat rakennuksen ongelmakohtia, koska niihin syntyy helposti ilma-
vuotoja. Liitoksissa on vaikeata pitää tiivistys yhtenäisenä, kun rakenteet rakennetaan eri aikoina. Höyrynsulkumuovin yhtenäistäminen koko rakennuksen ympärille liitosten yli on erittäin tärkeää, koska silloin saadaan rakennus mahdollisimman tiiviiksi kokonaisuudeksi. Liitosratkaisujen yksinkertaistaminen helpottaa niiden tekemistä, jolloin varmistetaan tiiveyden eheys. Olen ottanut opinnäytetyöhöni kolme erilaista liitosratkaisua, jotka kattavat alapohjan, yläpohjan ja väli-

pohjan liittymisen seinärakenteisiin. Olen yhtenäistänyt alapohjarakenteen (Liite 1), seinärakenteen (Liite 4) ja yläpohjarakenteen (Liite 7) yhteiseksi kokonaisuudeksi, johon liittyy välipohja.

4.7.1 Seinän ja alapohjan liitos

Maaperästä pääsee helposti kulkeutumaan kylmää ilmaa seinän ja lattian liitoskohdasta, kun sisätila muuttuu alipaineiseksi esimerkiksi savupiippuvaikutuksen johdosta (Liite 9). Jotta tämä kylmän ilman aiheuttama lämpöhäviö saataisiin estettyä, pitää sokkelin ja alapohjan eristeen päälle asentaa bitumihuopakaista. Betonilaatan ja sokkelin väliin asennetaan myös polyeteeni kaista, joka tehostaa sauman tiiveyttä. Rakenteen perusmuurina on käytetty eristettyä kevytsoraharkkoa. Lecan LTH eristeharkko toimii hyvin matalaenergiarahkkona. Harkon sisäpintaan on hyvä asentaa eristekerros, joka estää kosteuden kapillaarisen nousun harkossa ja katkaisee kylmäsillan täytön ja sisäilman väliltä.

Alajuoksun materiaalit ovat puuta, joten ne pitää suojata kosteutta vastaan. Seinän tuulensulku limitetään alaohjauspuun kiinnityksen ja saumauksen kanssa, jolloin ulkoinen kosteus ei ole kosketuksissa rakenteen puuosien kanssa. Sauman bitumihuopakaista ja LHK-saumaeristeen vettä hylkivä pinta estävät kosteuden kapillaarisen nousun harkosta alaohjauspuulle. Puu ei itsessään synnytä vahvaa kylmäsiltää rakenteessa, vaikka puun lämmönläpäisykerroin ei olekaan samaa luokkaa eristeisiin verrattuna. Lisäksi puun suhteellinen pinta-ala puurunkoisessa seinärakenteessa on melko pieni, jolloin suurin lämpöhäviökuorma otetaan vastaan eristeellä. Puu pitää aina suojata kosteutta vastaan tai järjestää sille mahdollisuus kuivua tuuletuksen avulla.

Alapohjan ja seinän liitoksen sisäpuolinen ilmansulku jää helposti vaillinaiseksi, jos sitä ei rakenneta huolella. Alapohjaa rakentaessa, sen eristekerroksen päälle on asennettu höyrynsulkukaista, joka tulee esiin lattian päälle. Seinän höyrynsulku limitetään vähintään 200 mm matkalta alapohjan höyrynsulkukaistaan alaohjauspuun kohdalta, tällöin saadaan yhtenäinen ilman ja höyrynsulku liitoksen kohdalla. Höyrynsulkumuovi on hyvä jättää hieman löysälle liitoksen kohdalta, koska kiristetty muovi hajoaa helposti terävistä kulmista. Liitoksesta saataisiin vielä pa-

remppi, jos terävät kulmat saataisiin minimoitua, esimerkiksi alapohjauspuun kulma viistettäisiin alaspäin.

4.7.2 Seinän ja yläpohjan liitos

Liitos on hyvin samankaltainen kuin alapohjan liitos höyrynsulkumuovin kohdalta (Liite 10). Seinän ja yläpohjan höyrynsulkukaista teipataan yhteen ja tässäkin tapauksessa muoviin on hyvä jättää liikkumavaraa, jotta se ei pääsisi rikkoutumaan. Tuulensuojalevy on hyvä ohjata melkein katon rajaan asti jättäen tuuletusraon ja eristää vielä 100 mm eristelevyllä. Tätä seinää vasten on hyvä asentaa puhallusvilla, jolloin se pysyy hyvin paikallaan. Näin puhallusvillalle tulee oma allas, johon se on helppo asentaa. Yläohjauspuiden väliin asennetaan myös tiivistysvilla LHK, jotta puut pysyisivät mahdollisimman kuivina. Tästä kuvasta (Liite 10) huomaa miten aluskate tulee asentaa tarpeeksi pitkälle räystäään päälle. Jotta räystääslaudat eivät vettyisi aluskatteelta valuvan veden takia, niiden päälle asennetaan suojapelti, joka ohjaa veden pois turvallisesti. Kuvasta näkee myös tuulenohjaimen sijainnin, joka asennetaan katteisiin.

4.7.3 Seinän ja välipohjan liitos

Seinän ja välipohjan liitokset ovat haasteellisia, koska niihin syntyy helposti kylmäsiltoja runkorakenteiden välille (Liite 11). Lisäksi höyrynsulkumuovin sijoittaminen välipohjan kohdalla on haasteellinen. Tässä liitoksessa höyrynsulkumuovi on kierretty välipohjan ympäri, jotta siitä saataisiin yhtenäinen kerrosten välille. Välipohjan liitos on aina heikompi kohta seinässä, jolloin se pitää rakentaa mahdollisimman hyvin ja yksinkertaisesti, jotta ilmanvuotoluku ei heikkenisi. Tämä liitosrakenne on matalaenergiavaatimusten tasoinen. Kosteusteknisesti välipohja on riski, koska kosteus pääsee siirtymään välipohjaa pitkin kylmälle alueelle ja mahdollistaa kosteuden tiivistymisen. Rakennuksen tehokas ilmanvaihto kuitenkin vähentää tätä riskiä, jolloin ilmalle ei anneta sijaa poistua rakenteita pitkin. Kuitenkin kaikista tärkein asia liitoksien energiatehokkuuden kannalta on ilman ja höyrynsulun yhtenäistäminen.

5 YHTEENVETO

Rakennuksista tullaan tekemään tulevaisuudessa entistä energiatehokkaampia ja ympäristöministeriö tulee muokkaamaan ja kiristämään energiamääräyksiä. Rakentaminen on menossa kohti nollaenergiarakentamista, kun sen toteuttamiseksi keksitään entistä parempia ja tehokkaampia ratkaisuja. Uusista rakennusmenetelmistä pitää saada monien vuosien näyttö, ennen kuin voidaan todeta ne täysin toimiviksi. Se on varmaa, että rakenteista ei tulla saamaan täysin toimivia, koska luonto taistelee tehokkaasti niitä vatsaan.

Opinnäytetyöni tulokset osoittavat sen, missä vaiheessa rakennustekniikan energiatehokkuus on tällä hetkellä. Ollaan huomattu jo mihin asioihin pitää kiinnittää huomiota, jotta rakennuksen energiatehokkuus paranisi. Näissä asioissa pitää ottaa kuitenkin huomioon se, että joidenkin ominaisuuksien parantaminen heikentää toisia ominaisuuksia tai lisää riskirakenteen syntymistä. Parhaimpaa mahdolliseen lopputulokseen päästään, kun rakennetaan huolella ja estetään pahimpien mahdollisten riskirakenteiden syntyminen, jolloin tyhvät rakennusvirheet saataisiin mahdollisimman vähäisiksi.


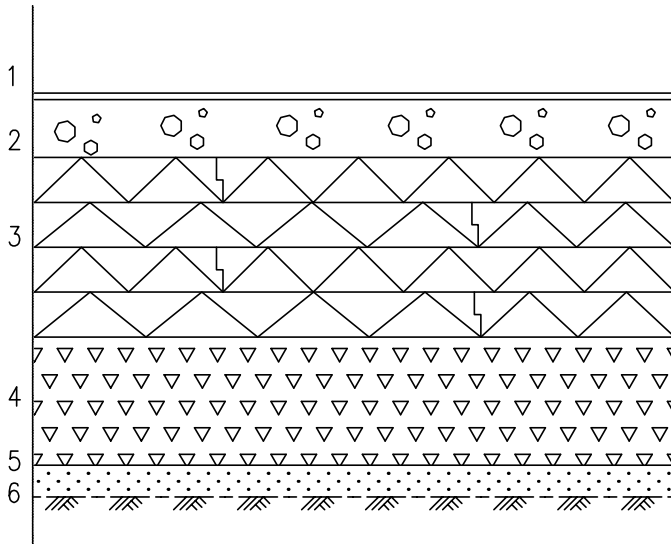
Opinnäytetyössäni keskityin pääsääntöisesti rakenteiden tiiviyyteen, lämmönläpäisykertoimeen ja niiden rakennusfysikaaliseen toimintaan. Työssäni selviää miten luonnon vaikuttamat kuormat otetaan huomioon rakennetekniikassa ja millaisia ominaisuuksia materiaaleilta vaaditaan. Rakentamisen pahin vihollinen on kosteus, jonka tunkeutumista rakenteiden sisälle, pyritään estämään keinolla millä hyvänsä. Tutkimuksessani pyrin keskittymään rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen, kun siirrytään energiatehokkaampiin ratkaisuihin ja miten rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta pystytään parantamaan.

LÄHTEET

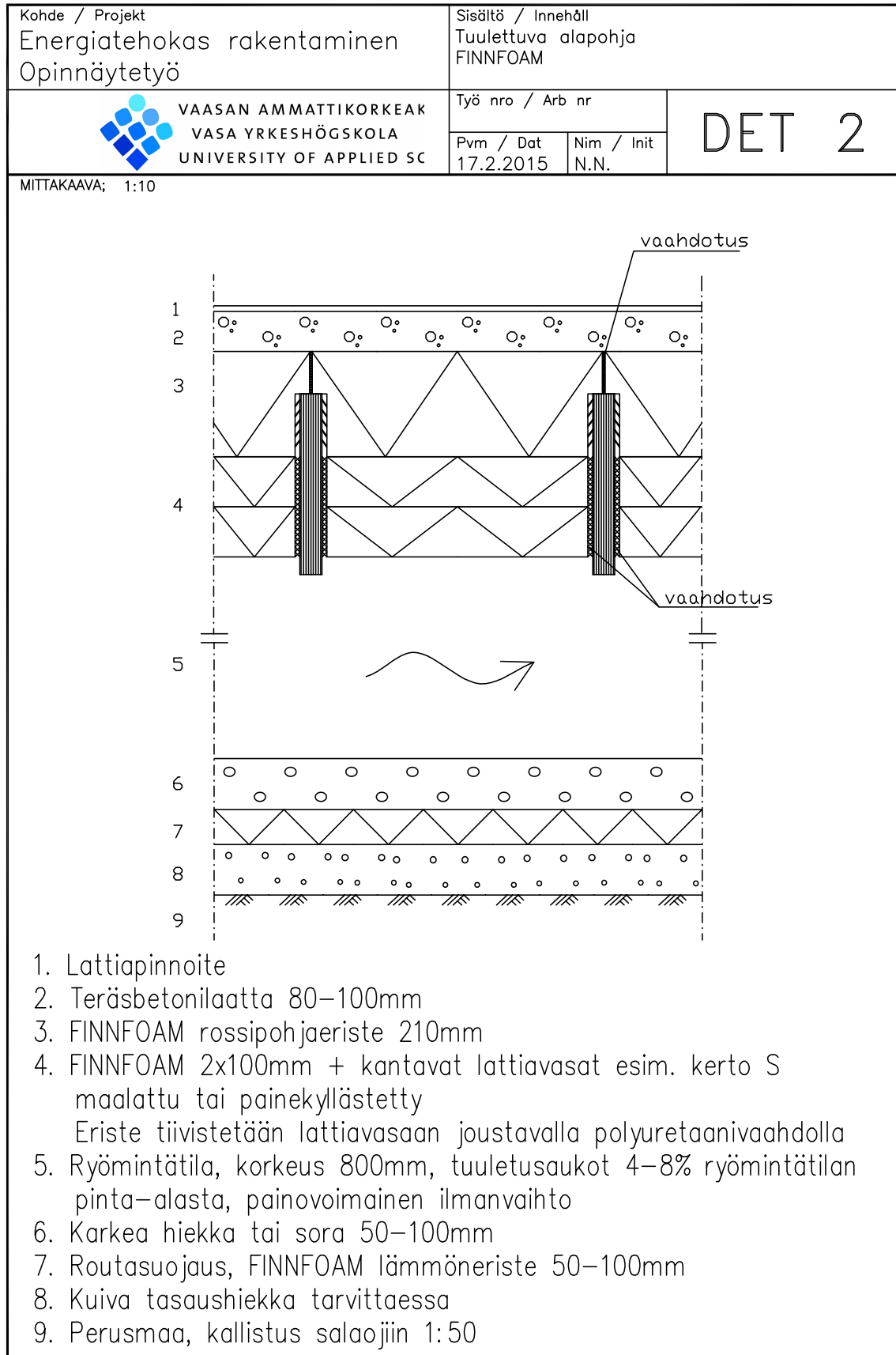
- /1/ Ympäristöministeriö.2012. Viitattu 19.1.2015
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto
- /2/ Pientalojen energiatehokkuus paranee ja energian säästö lisääntyy. Viitattu 19.1.2015.
<http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Energiansaasto/Energiatehokkuuden-kehitys-61952>
- /3/ Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. 2010. Viitattu 19.1.2015.
<http://www2.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VT-R-04017-10.pdf>
- /4/ Ympäristöministeriö. D3 säädös uusista tavoitteista. 2013. Viitattu 20.1.2015
<http://www.ym.fi/download/noname/{F48C187B-90DB-4789-AA94-A88C9A83C0D3}/102477>
- /5/ Ympäristöministeriö. Uudet energiamääräykset annettu. 2011. Viitattu 20.1.2015.
[http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiedotteet_2011/Uudet_rakentamisen_energiamaarakset_ann\(900\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiedotteet_2011/Uudet_rakentamisen_energiamaarakset_ann(900))
- /6/ Ympäristöministeriö. D3 säädös energiamuotojen kertoimien lukuarvot. 2013. Viitattu 20.1.2015.
<http://www.ym.fi/download/noname/{15C4BA1B-39C7-483C-9306-6635D392547F}/31392>
- /7/ Suomela. Seinät paksummaksi vuonna 2010. 2009. Viitattu 21.1.2015.
<http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Lammoneristys/Uudet-energiamaarakset-maaraavat-seinat-paksummaksi-vuonna-2010--49819>
- /8/ Energiatodistusinfo. Viitattu 21.1.2015.
<http://www.energiatodistus.info>
- /9/ Motiva. Matalaenergiatalon määritelmä. 2015. Viitattu 23.1.2015.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmaa
- /10/ Karelia. Matalaenergiatalon suunnittelu. 2009. Viitattu 27.1.2015.
http://www.karelia.fi/lahiverkko/ajankohtaista/materiaali/Energiatehokas_pientalo_Kekki_Toni.pdf
- /11/ Passiivienergiatalo harkoista. 2009. Viitattu 27.1.2015.
www.harkkokivitalo.fi/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r

- /12/ Motiva. Energiatehokas ilmanvaihto. 2010. Viitattu 5.2.2015.
http://www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf
- /13/ Movita. Kaukolämpö. 2014. Viitattu 5.2.2015.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/kaukolampo
- /14/ Verita. Tiiveyden edut. 2015. Viitattu 10.2.2015.
<http://www.vertia.fi/tiiveysmittaus/miksi-rakennuksen-vaippa-mitataan>
- /15/ Puuinfo. Hyvä tietää lämpöpuusta. 2000. Viitattu 11.2.2015
[http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/hyvä%20tietää%20lämpöpuusta.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/hyva%20tietaa%20lampöpuusta.pdf)
- /16/ Rakentaja. Poltettu tiili rakennusaineena. 2006. Viitattu 11.2.2015.
http://www.rakentaja.fi/artikkelit/333/poltettu_tiili_rakennusaineena.htm
- /17/ ISOVER. Ratkaisut. Uudisrakentaminen. Pien- ja rivitalot. Viitattu 19.2.2015. <http://www.isover.fi/ratkaisut/uudisrakentaminen/pien-ja-rivitalot>
- /18/ FINNFOAM. Ominaisuudet. Viitattu 19.2.2015.
<http://www.finnfoam.fi/finnfoam-eristelevyt/ominaisuudet/>
- /19/ Kuntoarvio. Rakennusfysiikka. Tuulettuva- ja maanvarainen alapohja. Viitattu 23.2.2015. <http://www.kuntoarviot.net/files/8048.pdf>
- /20/ Rakentaja. Kuva oikeaoppisesta maataytöstä. Lohja Rudus Oy. Viitattu 28.2.2015.
<http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/kuluttaja/lohjarudus/kiviaines.htm>
- /21/ Tampereen teknillinen yliopisto. Energiatehokkaan rakennuksen ja vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta. 2013. Viitattu 31.3.2015.
<http://www.ouka.fi/documents/486338/db0c5c7a-6af0-421f-81ba-52975c867c6e>
- /22/ Tiivistalo. Konvektio. 2015. Viitattu 31.5.2015.
<http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tiivistaloWiki&otsikko=konvektio&tunnus=377>


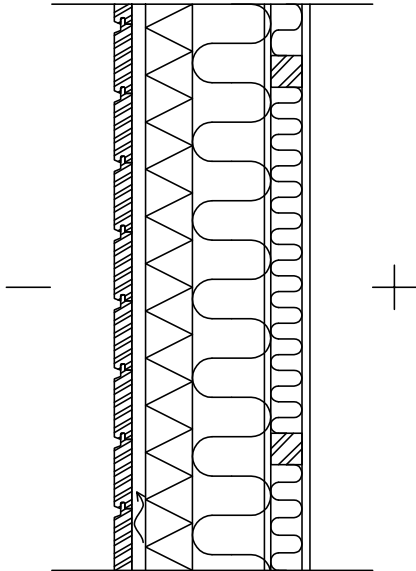
LIITE 1.

Kohde / Projekt Energiatehokas rakentaminen Opinnäytetyö		Sisältö / Innehåll Maanvarainen alapohja FINNFOAM											
 VAASAN AMMATTIKORKEAK VASA YRKESHÖGSKOLA UNIVERSITY OF APPLIED SC	Työ nro / Arb nr		DET 1										
	Pvm / Dat 17.2.2015	Nim / Init N.N.											
MITTAKAAVA; 1:10													
													
<div><div>1. Lattiapinnoite</div><div>2. Teräsbetoni-laatta 100mm</div><div>3. FINNFOAM 280–400mm. Matalaenergiataloissa käytetään 300–350mm Pienemmillä omakotitaloilla kuitenkin 280mm eristekerros riittää</div><div>4. Kapillaarikatko sepelillä (raekoko 8–16mm) yli 200mm</div><div>5. Hiekkakerros, jossa passiiviset maalämpö / – kylmä putket</div><div>6. Suodatinkangas</div><div>7. Perusmaa, kallistus salaojiin 1:50</div></div>													
Rakenteen U-arvoa parannetaan aina FINNFOAM paksuuden avulla Kyseisessä rakenteessa:													
<table><tr><td>200mm</td><td>0,16</td></tr><tr><td>250mm</td><td>0,13</td></tr><tr><td>300mm</td><td>0,11</td></tr><tr><td>350mm</td><td>0,09</td></tr><tr><td>400mm</td><td>0,08</td></tr></table>				200mm	0,16	250mm	0,13	300mm	0,11	350mm	0,09	400mm	0,08
200mm	0,16												
250mm	0,13												
300mm	0,11												
350mm	0,09												
400mm	0,08												


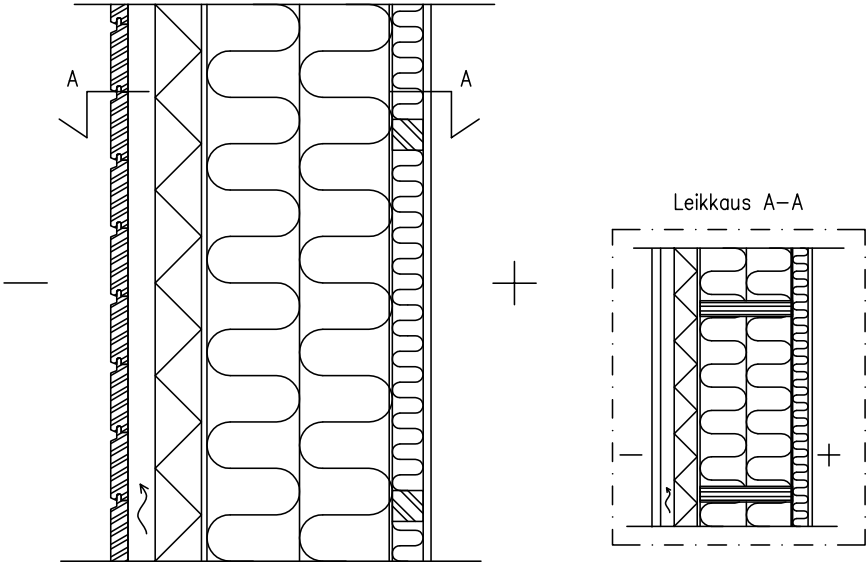
LIITE 2.




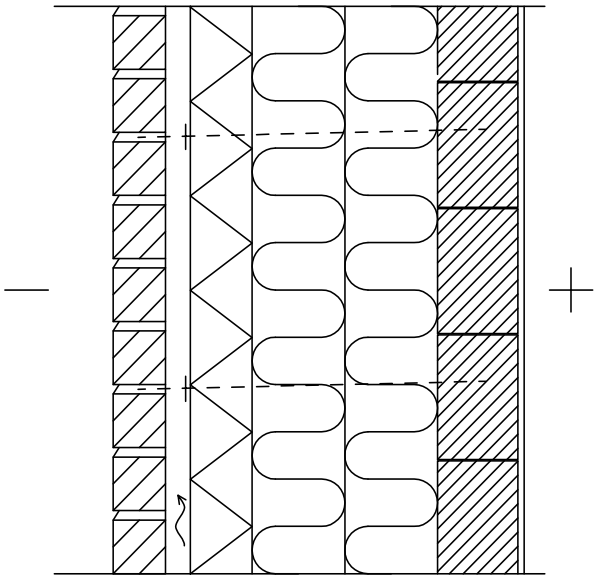
LIITE 3.

Kohde / Projekt Energiatohokas rakentaminen Opinnäytetyö		Sisältö / Innehåll Matalaenergiatalo Puurunkoinen ulkoseinä ISOVER	
 VAASAN AMMATTIKORKEAK VASA YRKESHÖGSKOLA UNIVERSITY OF APPLIED SC	Työ nro / Arb nr		DET 3
	Pvm / Dat 17.2.2015	Nim / Init N.N.	
MITTAKAAVA; 1:10			
			
<p>RAKENNE ULKOA SISÄLLE:</p> <p>Ulkoverhous</p> <p>22 mm Tuuletusrako ja koolaus 22x100 k600</p> <p>75 mm Tuulensuoja ja lämmöneriste ISOVER RKL-31 Facade, saumat teipataan</p> <p>125 mm Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja kantava runko 50x125 k600</p> <p>Höyrynsulku ISOVER VARIO</p> <p>50 mm Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja koolaus 50x50 k600</p> <p>13 mm Kipsilevy GYPROC GN 13 tai GEK 13</p> <p>Pintakäsittely huoneselosteen mukaan</p> <p>Paloluokka: REI 60 (palo ulkoapäin)</p> <p>Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)</p> <p>U-arvo 0,14 W/m²K</p>			


LIITE 4.

Kohde / Projekt Energiatehokas rakentaminen Opinnäytetyö	Sisältö / Innehåll Passiivitalo / Lähesnollaenergia Puurunkoinen ulkoseinä ISOVER	
 VAASAN AMMATTIKORKEAK VASA YRKESHÖGSKOLA UNIVERSITY OF APPLIED SC	Työ nro / Arb nr	
	Pvm / Dat 23.10.2013	Nim / Init N.N.
MITTAKAAVA; 1:10		
		
<p>RAKENNE ULKOA SISÄLLE:</p> <p>Ulkoverhous</p> <p>44 mm Tuuletusrako ja ristiinkoolaus 22x100 k600</p> <p>75 mm Tuulensuoja ja lämmöneriste ISOVER RKL-31 Facade, saumat teipataan</p> <p>13 / 9 mm Kipsilevy GYPROC Glasroc GHU 13 Hydro tai GTS 9</p> <p>300 mm Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja kantava runko 50x300 k600</p> <p>Höyrynsulku ISOVER VARIO</p> <p>50 mm Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja koolaus 50x50 k600</p> <p>13 mm Kipsilevy GYPROC GN 13 tai GEK 13</p> <p>Pintakäsittely huoneselosteen mukaan</p> <p>Paloluokka: REI 60 (palo ulkoapäin)</p> <p>Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)</p> <p>U-arvo 0,086 W/m²K</p>		

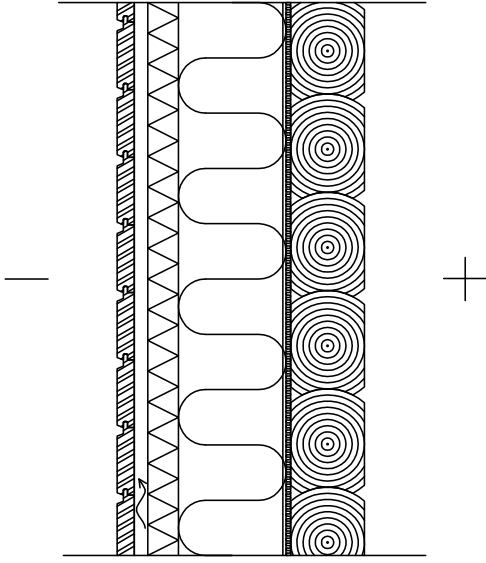
LIITE 5.

Kohde / Projekt Energiatehokas rakentaminen Opinnäytetyö		Sisältö / Innehåll Passiivi / Nollaenergia Tiilirunkoinen ulkoseinä ISOVER	
 VAASAN AMMATTIKORKEAK VASA YRKESHÖGSKOLA UNIVERSITY OF APPLIED SC	Työ nro / Arb nr		DET 5
	Pvm / Dat 17.2.2015	Nim / Init N.N.	
MITTAKAAVA; 1:10			
			
<p>RAKENNE ULKOA SISÄLLE:</p> <p>Poltettu tiili, Kahi-tiili tai rapattu Kahi Facade-harkko</p> <p>40 mm Tuuletusrako</p> <p>100 mm Tuulensuoja ja lämmöneriste ISOVER RKL-31 Facade, saumat teipataan</p> <p>300 mm Lämmöneriste ISOVER KL-32</p> <p>130 mm Tiilirunko, Kahi runkoponttiharkko</p> <p>Pintakäsittely huoneselosteen mukaan</p> <p>Paloluokka: REI 60</p> <p>Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)</p> <p>U-arvo 0,079 W/m²K</p> <p>Matalaenergiataloratkaisun saa poistamalla toisen lämmöneristekerroksen, jolloin eristekahsuudeksi jäisi 150mm</p>			

LIITE 6.

Kohde / Projekt Energiatehokas rakentaminen Opinnäytetyö		Sisältö / Innehåll Matalaenergia Hirsirunkoinen ulkoseinä ISOVER				
 VAASAN AMMATTIKORKEAK VASA YRKESHÖGSKOLA UNIVERSITY OF APPLIED SC		Työ nro / Arb nr	DET 6			
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Pvm / Dat</td> <td style="padding: 2px;">Nim / Init</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">18.2.2015</td> <td style="padding: 2px;">N.N.</td> </tr> </table>		Pvm / Dat	Nim / Init	18.2.2015
Pvm / Dat	Nim / Init					
18.2.2015	N.N.					

MITTAKAAVA; 1:10




RAKENNE ULKOA SISÄLLE:

Ulkoverhous	
22 mm	Tuuletusrako ja koolaus 22x100 k600
50 mm	Tuulensuoja ja lämmöneriste ISOVER RKL-31 Facade, saumat teipataan
175 mm	Lämmöneriste ISOVER KL-33 ja pystykoolaus 50x175 k600
	Höyrynsulku ISOVER VARIO
8 / 15 mm	Lämmöneriste ISOVER KH-8 tai KH-15
110 mm	Hirsirunko

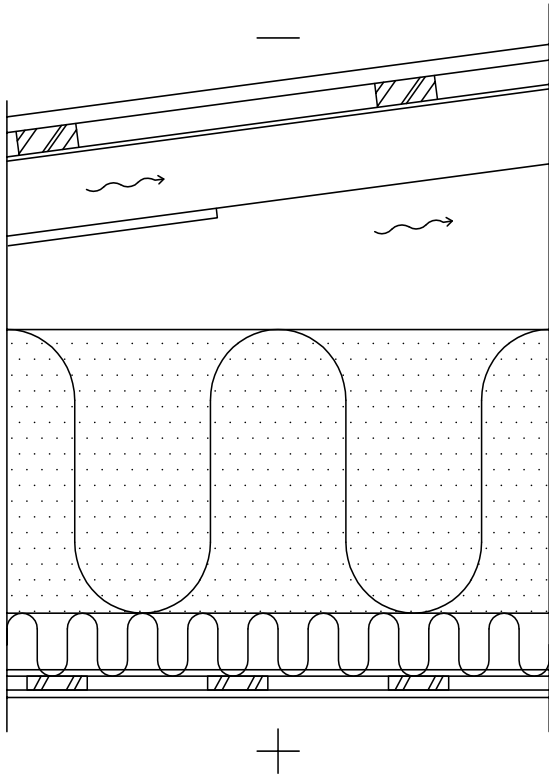
Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)
 U-arvo 0,14 W/m²K

VERSIO	ERISTEKERROS	U-ARVO
A	ISOVER KL-33 175mm + RKL-31 Facade 50mm	U=0,14
B	ISOVER KL-33 200mm + RKL-31 Facade 25mm	U=0,14

LIITE 7.

Kohde / Projekt Energiatehokas rakentaminen Opinnäytetyö		Sisältö / Innehåll Passiivienergia Puurakenteinen ristikkoyläpohja ISOVER	
 VAASAN AMMATTIKORKEAK VASA YRKESHÖGSKOLA UNIVERSITY OF APPLIED SC	Työ nro / Arb nr		DET 7
	Pvm / Dat 18.2.2015	Nim / Init N.N.	

MITTAKAAVA; 1:10



RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALAS:

Ruoteet ja vesikate aluskatteineen rakennesuunnitelmien mukaan

Reuna-alueilla kattokannattajien välissä tuulenohjain, noin 1,2m ulkoseinältä

Tuuletettu ilmatila

450 mm

Puhallusvilla ISOVER PUH KV-041

100 mm

Levyvilla ISOVER KL-33

Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan, tässä k900

Höyrynsulku ISOVER VARIO

22 mm

Harvalauditus 22x100 k300

13 mm

Kipsilevy GYPROC GN 13 tai GEK 13

Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Paloluokka: REI 30 luokkaan 2xGN 13 tai GF 15 Gyprocin ohjeiden mukaan

Ääneneristävyys:

$R'_w \geq 30\text{dB}$

yksinkertainen levytys

$R'_w \geq 30-35\text{dB}$

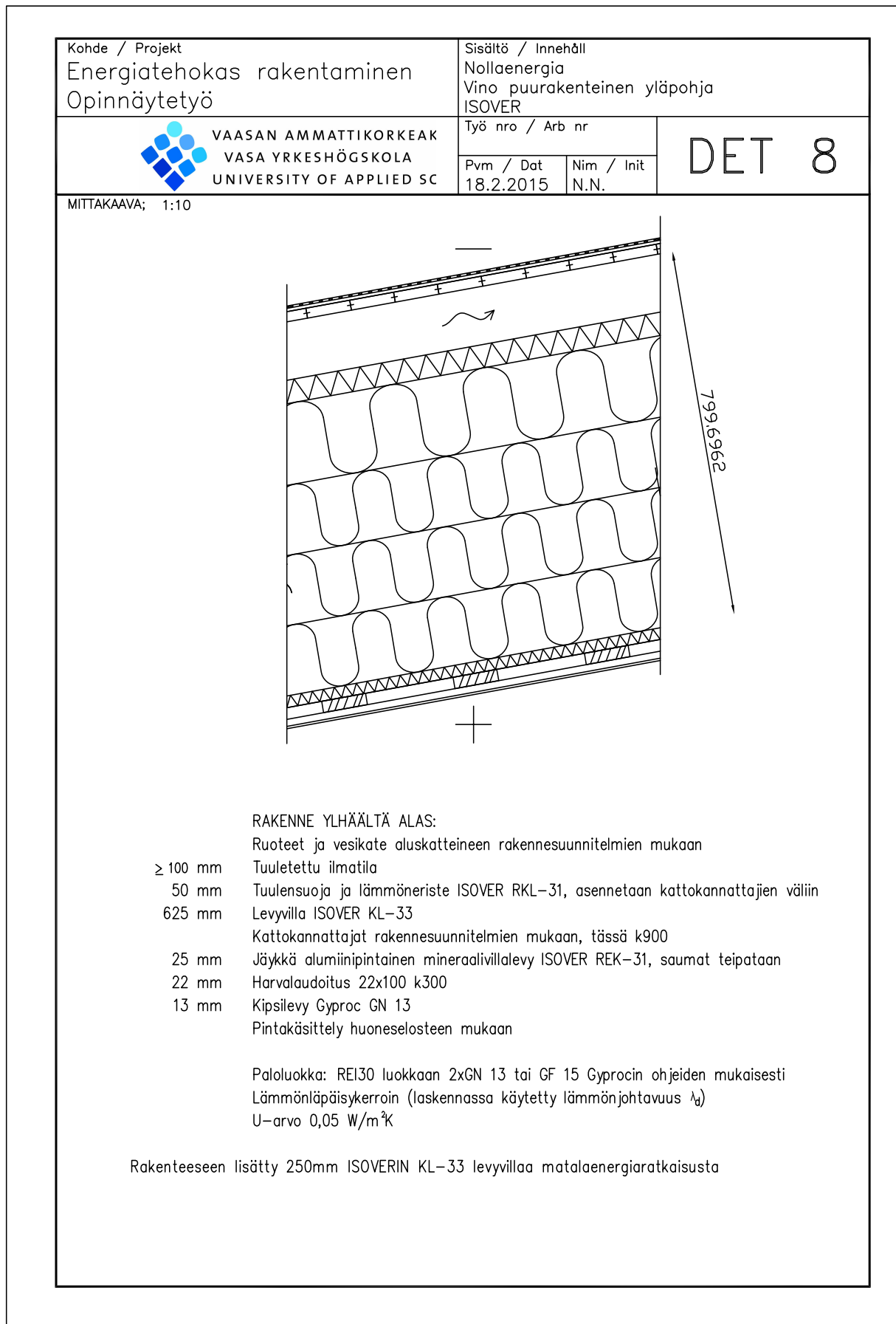
kaksinkertainen levytys

Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)

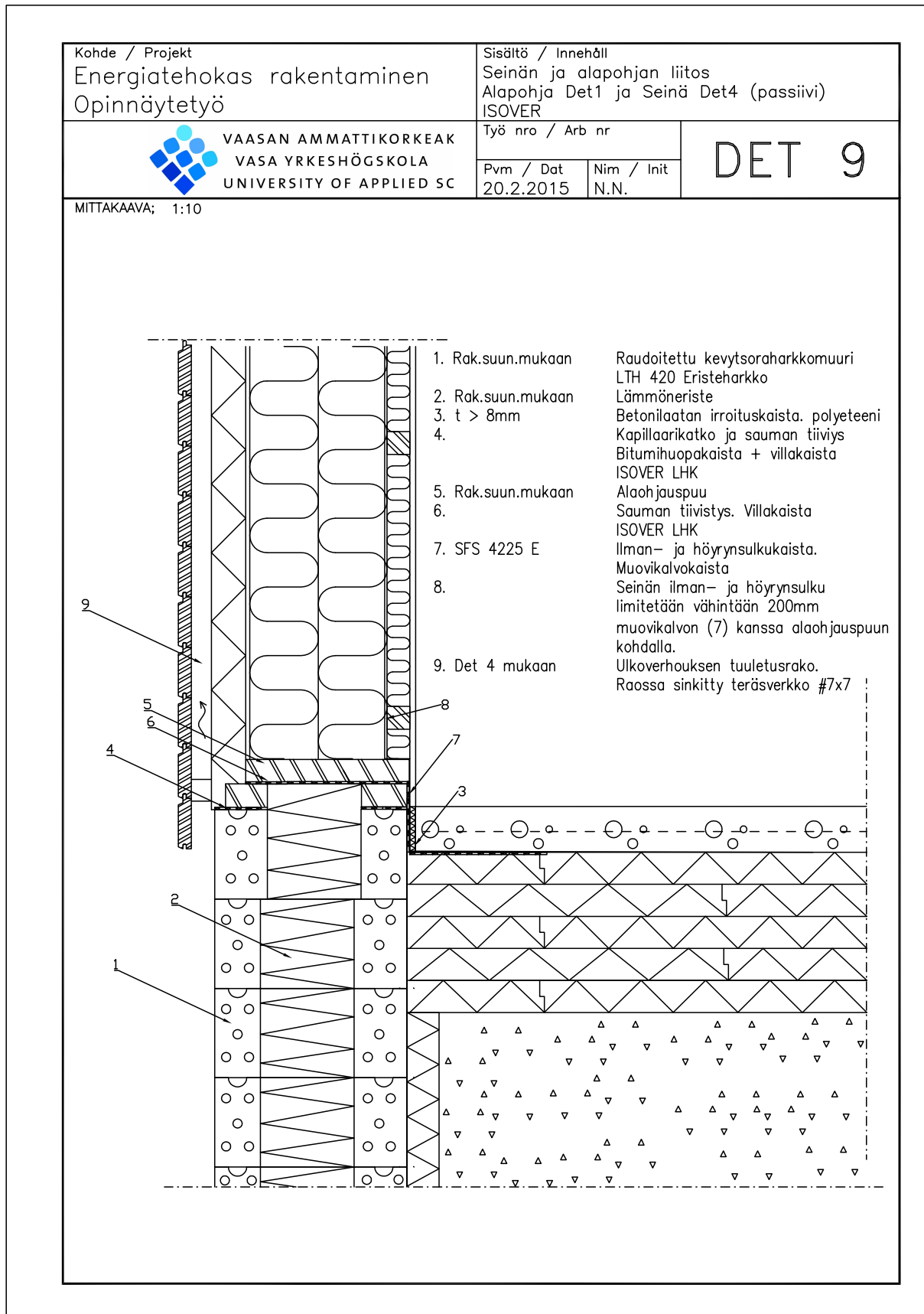
U-arvo 0,07 W/m²K

Rakenne eroaa matalaenergiarakenteesta puhallusvillamäärässä. Passiiviratkaisuun päästään lisäämällä puhallusvillaa 50mm.

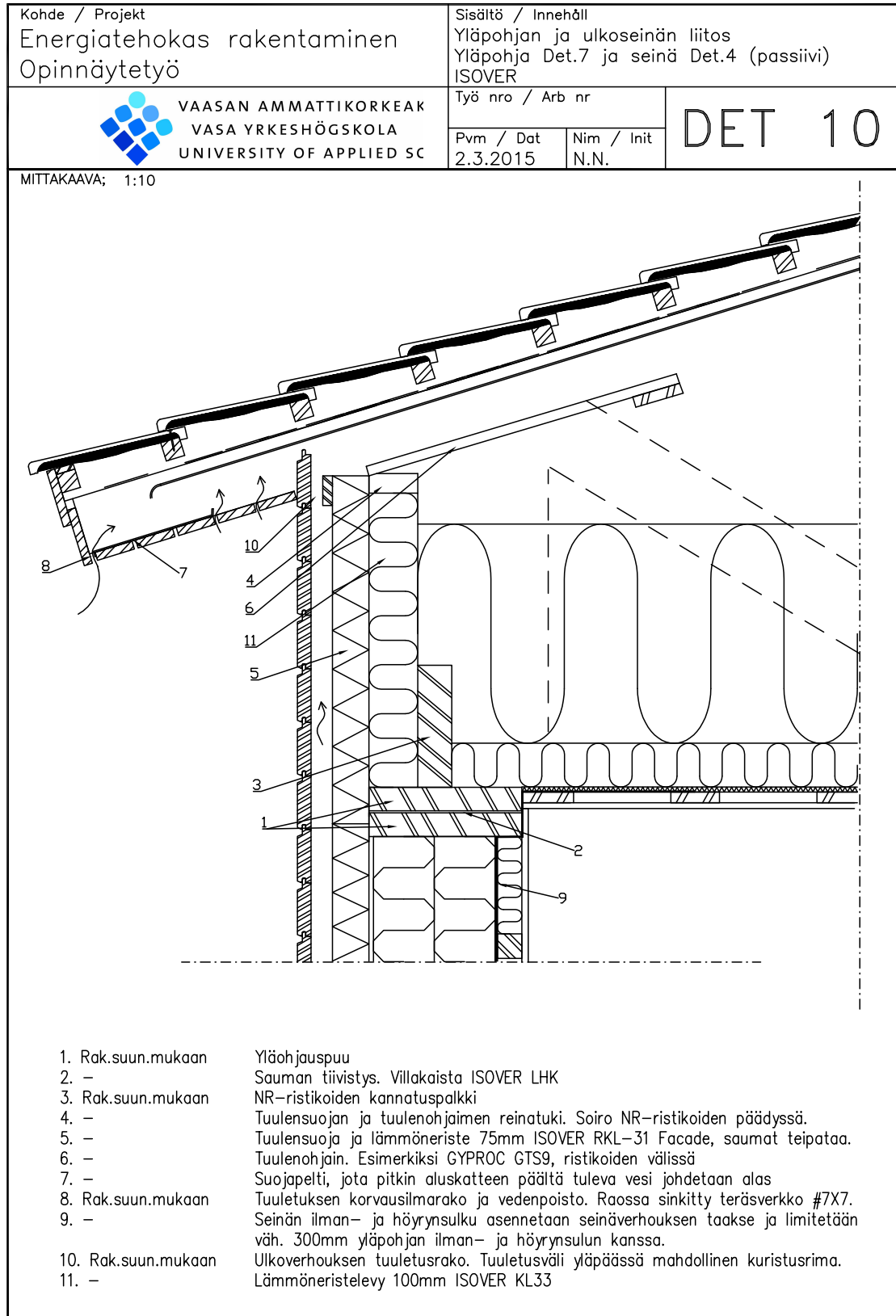
LIITE 8.



LIITE 9.



IITE 10.



LIITE 11.

